



CENTRO DE INVESTIGACION EN
ALIMENTACION Y DESARROLLO
A.C.

**ESTIMACIÓN DE INDICADORES ECONÓMICOS Y
AMBIENTALES DEL SECTOR TRANSPORTE
TERRESTRE PRIVADO DE UNA LOCALIDAD URBANA**

Por:

PABLO HERNÁNDEZ ARIAS

TESIS APROBADA POR LA COORDINACIÓN DE

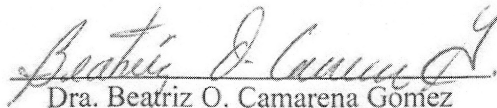
DESARROLLO REGIONAL


Como requisito parcial para la obtención del grado de:


MAESTRIA EN DESARROLLO REGIONAL

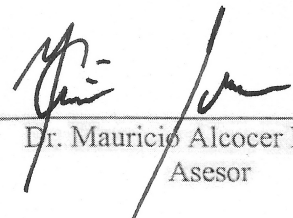
Aprobación

Los miembros del comité designado para la revisión de la tesis de Pablo Hernández Arias, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Desarrollo Regional.


Dra. Beatriz O. Camarena Gómez
Director


Dr. Pablo Wong González
Asesor


Dr. Juan Martin Preciado Rodríguez
Asesor


Dr. Mauricio Alcocer Ruthling
Asesor

DECLARACIÓN INSTITUCIONAL

La información generada en esta tesis es propiedad intelectual del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD). Se permiten y agradecen las citas breves del material contenido en esta tesis sin permiso especial del autor, siempre y cuando se dé crédito correspondiente. Para la reproducción parcial o total de la tesis con fines académicos, se deberá contar con la autorización escrita del Director General del CIAD. La publicación en comunicaciones científicas o de divulgación popular de los datos contenidos en esta tesis, deberá dar los créditos al CIAD, previa autorización escrita del manuscrito en cuestión del director de tesis.



Dr. Pablo Wong González
Director General

AGRADECIMIENTOS

Quisiera iniciar agradeciendo al Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo incondicional brindado durante los dos años que duraron mis estudios de maestría, además quiero agradecer al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A. C., al Dr. Pablo Wong y a todo el personal que labora en él, especialmente al personal de la Coordinación de Programas Académicos por desarrollar siempre sus labores de una manera puntual además de una ética y puntualidad destacable.

Es para mí importante destacar mi agradecimiento a la Coordinación de Desarrollo Regional y a todo su núcleo académico especialmente a mi directora de Tesis la Doctora Beatriz Olivia Camarena Gómez, ya que sin su incansable apoyo, así como sus consejos personales como académicos me hubiera sido imposible culminar este proceso.

Quiero dedicar este trabajo, a mis padres ya que han sido los que han forjado mi carácter y han fortalecido mi espíritu para salir adelante, además que jamás permitieron que me rindiera en todo mi proceso formativo, quiero agradecer a mi madre especialmente ya que sin sus valiosos consejos, sin olvidar sus regaños y uno que otro correctivo, no sé cuál hubiera sido mi destino pero estoy seguro que no hubiera sido el mejor.

En este tiempo, creo que es necesario agradecer especialmente a personas como Elsa María Barrios, Emmanuel Blanco, Edgar Emmanuel, Martha Alejandra Flores, Linda Llamas, Marina Muñoz, Jesús Alejandro Uribe, Alejandro Moya, Víctor Nishikawa y Daniela Zazueta ya que sin su valiosa amistad y compañía me hubiera sido más que imposible superar este periodo tan importante de mi vida. Además es importante agradecer a todos mis compañeros de Maestría que siempre gustaron de compartir discusiones acaloradas así como de los mejores convivios.

No menos importante quisiera dedicar este trabajo al Doctor Miguel Breceda Lapeyre, ya que él sirvió de inspiración para iniciar este camino en el mundo de la investigación.

Finalmente quiero agradecer a todos los que con palabras negativas y de desaliento me incitaron a salir adelante y a superarme cada día, siempre con la premisa de que “si se lucha se puede perder, si no se lucha se está perdido”.

.... *“El presente les pertenece. El futuro, que es en realidad para lo que yo trabajo será mío (Nikola Tesla)*

CONTENIDO

I.	INTRODUCCION	1
II.	SISTEMAS CLIMÁTICOS Y GASES EFECTO INVERNADERO (GEI)	6
2.1.	La Ciencia y el Cambio Climático	8
2.2.	Vulnerabilidad Climática y GEI Ligados a Actividades Antropogénicas.....	11
2.3.	. La Agenda Internacional en Atención a las Emisiones GEI y Participación de México.....	13
2.4.	. Naturaleza, Urbanización, Productos Energéticos y Problemática Ambiental	15
III.	NATURALEZA O AMBIENTE EN EL PENSAMIENTO ECONOMICO .	17
3.1.	Medio ambiente, Objeto de Estudio Olvidado de la Ciencia Económica.	17
3.2.	La Integración del Medio Ambiente en el Pensamiento Económico.	19
3.2.1.	<i>Economía Ambiental o del Medio Ambiente.</i>	19
3.2.2.	Economía Ecológica	20
3.2.3.	Economía Institucional	22
IV.	SISTEMA DE PRODUCCIÓN ENERGÉTICO Y SECTOR TRANSPORTE	
	27	
4.1.	Modelo Energético Convencional: Impacto Ambiental y Responsabilidad.....	28
4.2.	<i>Consumo Energético del Sector Transporte</i>	30
4.2.1.	<i>Consumo Energético a Nivel Mundial</i>	30
4.2.2.	<i>Parque Vehicular y Consumo Energético a Nivel Nacional</i>	30
4.2.3.	<i>Parque Vehicular y Consumo Energético en Hermosillo, Sonora.</i>	32
4.2.4.	<i>Consumo de Energéticos Asociado a Variación de Precios y Salarios</i>	35
V.	METODOLOGÍA	39
5.1.	Objetivos	39
5.1.1.	<i>Objetivo General:</i>	39

CONTENIDO (Continuación)

5.2. Unidad de Análisis y Muestreo	40
5.3. Diseño Metodológico para la Estimación de Indicadores	40
5.3.1. Indicadores Económicos (IE)	41
5.3.2. Lógica de Construcción de IE	42
5.3.3. Indicadores Ambientales (IA)	46
5.3.3.1. Lógica de construcción de IA	46
5.3.4. Elección del Método	48
5.3.5. Estimación de Toneladas de CO2 Generadas	50
5.3.6. Estimación de Toneladas de Metano, Óxido Nitroso	51
5.4 Consideraciones Previas a la Estimación de Indicadores Ambientales y Económicos del Sector Transporte Terrestre	54
6.1. Descripción de Resultados de Estimación de Indicadores	55
6.1.1. Indicadores Económicos	55
6.1.2. Indicadores Ambientales	59
6.2. Interpretación y Análisis de Resultados	64
6.2.1. Indicadores Económicos	65
6.2.2. Análisis de Indicadores Ambientales	75
6.2.3. Análisis Asociado a Enfoques Económicos	83
VII. CONCLUSIONES	86
7.1. Recomendaciones	88
BIBLIOGRAFIA	91
ANEXOS	94
<i>Cuadro Anexo I. Valores de Consumo, Emisiones y Costos de combustible Pemex Magna (Hoja 1)</i>	<i>94</i>

CONTENIDO (Continuación)

<i>Cuadro Anexo 2. Valores de consumo, Emisiones, y Costos de Combustible Pemex Magna (Hoja 2)</i>	95
<i>Cuadro Anexo 3. Valores de Consumo, Emisiones y Costos de combustible Pemex Premium (Hoja 1)</i>	96
<i>Cuadro Anexo 4. Valores de Consumo, Emisiones y costos de Combustible Pemex Premium (Hoja 2).</i>	97
<i>Cuadro Anexo 5. Resultados globales de Costos</i>	98
<i>Cuadro Anexo 6. Resultados globales de Energía y Emisiones de Gases de Efecto Invernadero</i>	99
<i>Cuadro Anexo 7. Indicadores (Hoja 1)</i>	100
<i>Cuadro Anexo 8. Indicadores (Hoja 2)</i>	101
BREVE GLOSARIO	102
<i>Factores determinantes del Clima Terrestre</i>	103
<i>Forzamiento Radiativo</i>	104
<i>Potenciales de Calentamiento Global (GWP).</i>	106

Índice de Figuras

Figura 1. Emisiones atmosféricas históricas de Dióxido de Carbono.....	1
Figura 2. Emisiones de Dióxido de Carbono (ppm) durante 50 años (1960-2010)	10
Figura 3. Distribución de la demanda mundial de energía 1990-2010 (Millones de toneladas de petróleo equivalente)	28
Figura 4. Composición de la generación de electricidad tipo de energía en algunos Países 2010 (Participación porcentual)	29
Figura 5. Consumo energético por sector a nivel mundial (2009).....	30
Figura 6. México. Distribución final de energía consumida por sector el año 2010.	31
Figura 7. México, 1997-2010. Incremento del número de Vehículos privados.....	31
Figura 8. México, 1997-2010. Tendencia de crecimiento del transporte terrestre privado (%).....	32
Figura 9. Hermosillo, Sonora. 1997-2010. Crecimiento transporte terrestre privado (%).....	35
Figura 10. México, 1997-2010. Variación anual del precio de combustibles (premium y magna) utilizado por el transporte terrestre privado (%).	36
Figura 11. México, 1997-2010. Incremento (%) anual del precio de combustibles utilizados por el sector transporte terrestre privado.	37
Figura 12. A. México, 1997-2010. Variación (%) precio público de PEMEX Magna e Incremento (%) del salario mínimo en el norte del país.	38
Figura 13 México, 1997-2010. Variación (%) precio público de PEMEX Premium e Incremento (%) del Salario mínimo en el norte del país.....	38
Figura 14. CTGE (Millones de pesos) GPM y GPP, en Hermosillo, 1997-2010.	67
Figura 15. Valores del incremento porcentual del Salario mínimo contra el CTGE en Hermosillo, Sonora, 1997-2010.	69
Figura 16. CTGE anual por vehículo l correspondiente al periodo 1997-2010 en Hermosillo, Sonora.	70
Figura 17. Relación entre CTGE y Consumo en Litros de Combustible.....	70
Figura 18. Rendimiento del transporte privado en Hermosillo Sonora 1997-2010.	71
Figura 19. Rendimiento del transporte privado en unidades monetarias (\$/Km).	72

Índice de Figuras (Continuación)

Figura 20. Incremento porcentual del Rendimiento (Km/L) contra incremento porcentual de costos de combustibles (\$/L) HMO, Son 1997-2010.	72
Figura 21. Kilómetros recorridos por peso contra litros por kilómetro recorrido, HMO, Son, 1997-2010.	73
Figura 22. CTGE de Combustóleo contra CTGE de gasolinas en HMO, Son; 1997-2010.	74
Figura 23. Porcentaje de Toneladas de emisiones de Gases de Efecto Invernadero en Hermosillo, Sonora durante el periodo 1997-2010.	76
Figura 24. Toneladas de CO2 equivalentes en Sonora durante el periodo 1997-2010.	76
Figura 25. Rendimiento medido en toneladas por kilómetro en Hermosillo, Sonora 1997-2010.	77
Figura 26. Rendimiento medido en pesos por tonelada de GEI en Hermosillo, Sonora 1997-2010.	78
Figura 27. Comparación entre rendimiento (Toneladas por kilómetro) contra pesos por tonelada generada HMO, Son. 1997-2010.	78
Figura 28. Emisiones de GEI procedentes del transporte terrestre privado en el estado de Sonora y en el municipio de Hermosillo.	79
Figura 29. Vehículos privados registrados en el estado de Sonora y en el municipio de Hermosillo, 1997-2010.	82

Índice de Tablas

Tabla 1. Hermosillo, Sonora, 1997-2010. Consumo energético (PEMEX Magna y Premium) del sector transporte terrestre privado.....	33
Tabla 2. Hermosillo, Sonora, 1997-2010. Costo unitario de energéticos utilizados por el transporte terrestre privado.	36
Tabla 3. México, 1997-2010. Salario Mínimo para la Zona “B “y Precio de gasolinas PEMEX (magna y premium) Incrementos porcentuales anuales.....	37
Tabla 4. Factores de Emisión IPCC 2006 para la estimación de GEI por tipo de combustible...	52
Tabla 5. Potenciales de calentamiento (GWP) correspondientes a cada gas de efecto invernadero estimado.	53
Tabla 6. Resultados de CTGE 1997-2010.....	56
Tabla 7. Resultados de CTGE anual por vehículo	56
Tabla 8. Rendimiento del transporte privado en unidades de energía HMO, Son, 1997-2010 ...	57
Tabla 9. Rendimiento del transporte privado en unidades de distancia por unidad de consumo y por costo de energía; HMO, Son, 1997-2010.....	58
Tabla 10. Costo energético diario por unidad de transporte terrestre privado; HMO, Son 1997-2010	59
Tabla 11. Emisiones de GEI generadas por el consumo de gasolina P. Magna; HMO, Son, 1997-2010.	60
Tabla 12. Emisiones de GEI generadas por el consumo de gasolina P. Magna; HMO, Son, 1997-2010.	61
Tabla 13. Emisiones en Toneladas de GEI generadas por el consumo de gasolina P. Magna y P. Premium en unidades de CO2 equivalentes; HMO, Son, 1997-2010.....	62
Tabla 14. Emisiones en Toneladas de GEI generadas por Kilómetro recorrido equivalentes; HMO, Son, 1997-2010.....	62
Tabla 15. Emisiones en Toneladas de GEI generadas por Kilómetro recorrido equivalentes; HMO, Son, 1997-2010.....	63

Índice de Tablas (Continuación)

Tabla 16. Unidades monetarias (\$) por Tonelada de GEI generada; HMO, Son, 1997-2010.....	64
Tabla 17. Cuadro comparativo de emisiones de GEI generadas por el consumo de gasolinas en Hermosillo y el estado de Sonora.....	79
Tabla 18. Automóviles privados registrados en Sonora, y Hermosillo 1997-2010.....	82

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Esquema de procesos de la economía neoclásica.	19
Ilustración 2. Economía Ecológica: flujo relaciones sistémicas.	21
Ilustración 3. Pasos para la generación y estimación de indicadores económicos.....	41
Ilustración 4. Pasos para la generación y estimación de indicadores ambientales (GEI)	47
Ilustración 5. Árbol de decisiones para la elección del Método (TIER).	49
Ilustración 6. Árbol de decisiones para la estimación de CO2 y otros tipos de GEI	51
Ilustración #7. Etapas de un ciclo económico típico.....	67
Ilustración #8. Ciclos económicos en México.	68
<i>Ilustración 9. Vehículos registrados en el estado de Sonora.</i>	<i>80</i>
Ilustración 10. Población del estado de Sonora, contabilizada el año 2010.	81
Ilustración 11. Área de influencia teórica de las emisiones de GEI generadas por el transporte privado en Hermosillo, Sonora 2010.	83
<i>Ilustración 12. Esquema de análisis económico emergente de la "Economía Institucional".....</i>	<i>85</i>

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1. Costo Total de Generación Energética.....	42
Ecuación 2. Costo total de Generación Energética por vehículo	44
Ecuación 3. Kilómetros anuales por vehículo recorridos.....	45
Ecuación 4. Rendimiento energético.....	45
Ecuación 5. Costo energético diario.....	45
Ecuación 6. Ecuación del IPCC para la estimación del CO2 del sector transporte terrestre.	50
Ecuación 7. Ecuación 3.2.3 del IPCC para la estimación de emisiones de metano y óxido nitroso (Tier 1).	52
Ecuación 8. Estimación de emisiones en unidades de dióxido de carbono equivalentes (CO2 eq.).....	53
Ecuación 9. Ecuación General de la combustión Interna.....	75

RESUMEN

Actualmente, el 80% del total de la energía primaria que el mundo utiliza para su funcionamiento proviene todavía de energía fósil, es decir, el gas natural, el carbón y el petróleo siguen siendo los combustibles básicos del sistema energético que requieren la mayoría de las actividades económicas y de servicios del orbe. Las actividades económicas y de servicios dependientes de tal sistema energético, siguen siendo también partícipes de la contaminación ambiental asociada a emisiones de gases efecto invernadero (GEI), situación que plantea la necesidad de emprender estudios para identificar, por ejemplo, las principales fuentes de emisiones GEI por sistema, proceso y país de origen; estimar la magnitud de tales emisiones por sistemas, fuente y sector de origen; analizar y promover el desarrollo de sistemas de producción energética alternativos (energías suaves); y establecer acciones ad hoc a cada caso, a fin de mitigar sus efectos adversos en el medio ambiente y la salud humana. Se espera que la información resultante sustente propuestas claras de intervención orientadas a elevar la eficiencia ambiental y económica del sector.

En esa perspectiva de análisis, en el caso del sector transporte terrestre, se requiere dimensionar las emisiones GEI por localidad de interés; estimar el costo del sistema energético predominante a partir de indicadores ambientales y económicos base; valorar el costo ambiental y económico de distintas fuentes energéticas para derivar niveles de eficiencia de unas y otras; y bosquejar escenarios a futuro centrados en mejorar la eficiencia energética del sector. En ese tenor, el objetivo central de este trabajo fue conocer la intensidad energética promedio anual del sector transporte terrestre privado de 1997 al 2010 en una pequeña localidad urbana del país, Hermosillo, Sonora, México. Se valoró su eficiencia a partir de indicadores económicos y ambientales como base, para estimar el gasto anual derogado en generar una unidad de energía (Kw/h).

Palabras clave: Gases de efecto invernadero, eficiencia energética, transporte terrestre privado, intensidad energética

ABSTRACT

Actually 80% of all primary energy used in the world for its operation still comes from fossil energy i.e. natural gas, coal and oil remain the basic fuel of the energy system that require the most of the economic .Such activities, dependent of energy system, are partakers of the pollution associated with emissions of greenhouse gases (GHGs), a situation that raises the need to undertake studies to identify, for example, the main sources of emissions GHG system, different process involved and regions of origin; estimate the magnitude of such emissions systems, source and origin sector; analyze and promote the development of alternative energy production systems (soft energies); and establishing ad hoc actions in each case, to mitigate its adverse effects on the environment and human health. It is expected that the resulting information sustains clear proposals for intervention aimed at increasing environmental and economic efficiency of the sector.

In this analytical perspective, in the case of land transport, it is necessary to size the GHG emissions by locality of interest; estimate the cost of the predominant energy system based on environmental indicators and economic base; evaluate the environmental and economic costs of different energy sources to derive efficiencies of such agencies; and outline future scenarios focused on improving the energy efficiency sector. In that vein, the central aim of this study was to determine the average annual energy intensity of private road transport sector 1997 2010 in a small urban area in the country, Hermosillo, Sonora, Mexico. Efficiency was assessed from economic and environmental indicators as a basis to estimate the annual cost repealed generate a unit of energy (Kw / h).

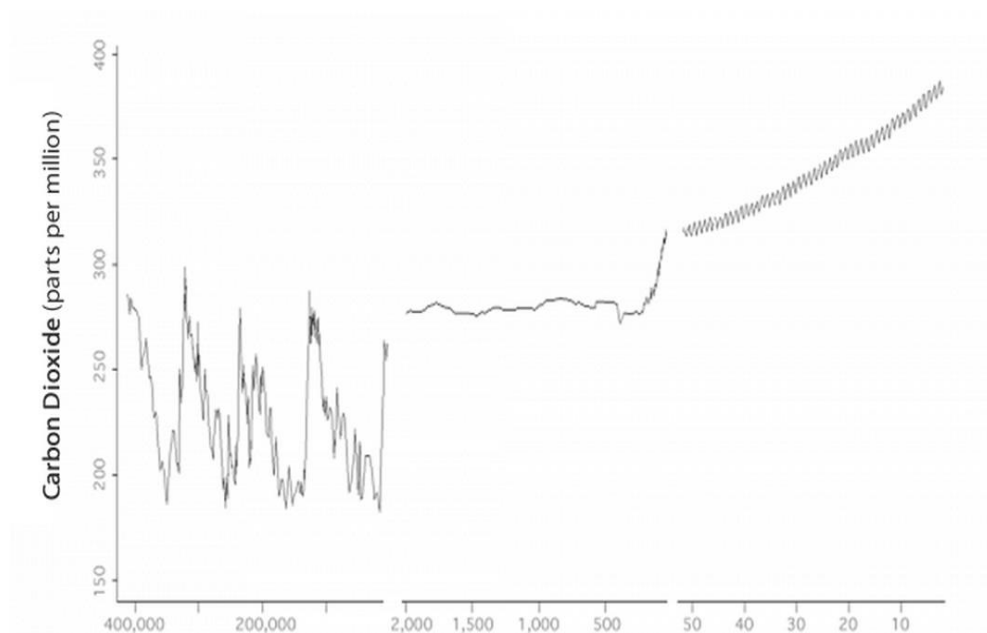
Key words: Green house gases, energy efficiency, private land transportation, energy intensity

I. INTRODUCCION

En los últimos años, desde inicios de la revolución industrial las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) se han incrementado de manera significativa a nivel global.

... a través de muchas décadas se ha podido posicionar la curva de CO₂ atmosférico en un contexto geológico utilizando reconstrucciones climáticas históricas. Sin embargo, un análisis del hielo antártico muestran que las cantidades de CO₂ atmosférico actualmente se encuentra en el punto más alto en los últimos 800 mil años (kennedy, 2009).

Figura 1. Emisiones atmosféricas históricas de Dióxido de Carbono



Fuente: Imagen extraída de (NOAA) CLIMATE.GOV. , <http://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/carbon-dioxide-earths-hottest-topic-just-warming>

Las emisiones totales provenientes de la quema de combustibles en el último siglo fueron de 261,233 millones de toneladas, mientras que sólo el año 2000, las emisiones totales fueron de 6,388 millones de toneladas. Históricamente EUA, se posiciona en primer lugar de emisiones al aportar el 30% durante el periodo 1900-2000 y el 24% durante el año 2000; seguido por China con el 12.8%. (Arvizu Fernández, 2004).

El recuento histórico de tales emisiones por lugar de origen, muestra que existe una relación directa entre ellas y el grado de industrialización de cada país o región geográfica. Para el año 2011, por ejemplo, las más altas emisiones de GEI corresponden a las regiones en las que se ubican los países que presentan niveles más altos de industrialización. Norteamérica generaba poco más del 6,550 mTMC_{02e} Europa 7, 085.75 mTMC_{02e} China-G77 27,138.7 mTMC_{02e} Oceanía 751.26 mTMC_{02e}, Latinoamérica y el Caribe 4,206.8 mTMC_{02e} y finalmente África con 4,070.8 mTMC_{02e} (WRI, 2011) .Se aprecia en tales datos, la estrecha relación que existe entre actividad económica-productiva y emisiones GEI así como entre éstas últimas y el nivel de vida per cápita de cada país.

Las actividades económicas de mayor incidencia en tales emisiones han sido las de la industria energética –por los procesos de transformación energética que utilizan y sus emisiones fugitivas por almacenamiento-, los procesos de transformación de materias que llevan a cabo las industrias, el uso y cambio de suelo en el sector agropecuario, el sector residencial, el sector de desechos y el sector transporte. Este último, genera el 45% de las emisiones GEI a nivel global (IPCC, El Grupo intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), 2004)

Las crecientes emisiones GEI asociadas al sector transporte, tienen que ver con una sociedad cada vez más globalizada, que ha implicado una población que demanda y utiliza cada vez más, directa e indirectamente, distintos medios de transporte para cubrir sus necesidades. Así como la sociedad depende del transporte, éste sector depende de la energía para moverse, y como tal energía refiere principalmente a combustibles naturales (fósiles), a corto y mediano plazo se preservan riesgos de impacto ambiental por los contaminantes que emite el parque vehicular.

En México, la producción de energéticos no ha sido el motor de desarrollo esperado. Si bien la demanda de energéticos muestra una tendencia creciente similar al de las economías del primer mundo, el desarrollo de la industria energética del país está lejos de alcanzar un nivel parecido al que presentan tales países. La problemática energética se expresa en una balanza comercial deficitaria, las exportaciones nacionales han bajado significativamente mientras las importaciones se elevan para cubrir la demanda nacional de combustibles. El año 2009, por ejemplo, el 42% de la demanda nacional de combustibles (gasolina y naftas principalmente), se cubrió con importaciones, las cuales alcanzan casi la mitad el siguiente año (48.6%); en el caso del diésel, las exportaciones bajaron 91.4% y las importaciones fueron 2.3 veces más que el año anterior. El principal país proveedor es Estados Unidos (95.5%), el resto, 4.5%, procede de Japón, Canadá y Venezuela (SENER, 2011).

Las señales de agotamiento del modelo energético del país van desde problemas de inversión y producción hasta déficit en balanza comercial y deterioro e impacto ambiental. Se hace cada vez más evidente la necesidad de analizar el desarrollo del modelo energético a nivel nacional y valorar su nivel de eficiencia por sector económico para delinear propuestas de mejora ad hoc a los problemas identificados. Hasta hoy, los estudios de tipo económico que han integrado la temática ambiental se enmarcan, generalmente, en la llamada economía ambiental, la economía ecológica o la economía institucional. Para justificar el enfoque que orienta el desarrollo del presente trabajo, habrá que distinguir los principales argumentos y planteamientos de estas escuelas de pensamiento económico.

Dada pues la necesidad de contar con indicadores económicos y ambientales que permitan estimar la eficiencia energética del sector transporte terrestre para el municipio de Hermosillo Sonora, el objetivo central de este trabajo es valorar los costos del sector transporte terrestre privado a partir de indicadores económicos (costo de generación energética e indicadores de rendimiento) e indicadores ambientales (inventario de gases de efecto invernadero), a fin de generar datos que orienten la toma de decisiones y mejor eficiencia del sector. De este objetivo, derivan cuatro específicos: a) identificar las variables que componen cada indicador (ambiental y económico); b) definir la relación lógico-matemática de los indicadores económicos y ambientales aplicados en el estudio

(Ton GEI/Km, Ton GEI/Vehículo, \$/Ton); c) ajustar los indicadores ambientales y económicos de interés para medir el comportamiento energético y las interrelaciones entre generación de energía y costos económicos (CTGE PEMEX Magna y Premium; Rendimiento: Km/Tj, Km/MW*h⁻¹, Km/L y \$/Km); y d) estimar las EGEI del sector transporte terrestre privado de la ciudad de interés por un periodo dado.

Los indicadores económicos se obtienen de datos específicos referidos al uso de energía a nivel municipal (costos totales, costos per cápita, rendimiento); y los indicadores ambientales, se ajusta la información de interés en base a las directrices del IPCC para la elaboración de inventarios nacionales de emisiones GEI.

Finalmente, el trabajo se estructura en cinco capítulos, además de la introducción, el índice, resumen, conclusiones y anexos (tablas con datos globales y un breve glosario de términos especializados).

El primer capítulo, titulado “Sistemas Climáticos y GEI”, presenta información técnica y científica correspondiente a la cuestión climatológica y a la generación y función de los GEI. También, describe algunos foros multilaterales que han abordado esta problemática y la participación de México en tal agenda internacional.

El segundo capítulo, “Escuelas de pensamiento económico-ambiental”, presenta tres escuelas económicas importantes que permiten abordar la problemática económica y ambiental del sector de interés; y se incluye un apartado más para describir la propuesta de desarrollo regional territorial con énfasis en la sustentabilidad y la gobernanza.

El tercer capítulo se titula “Escenario actual del sistema de producción energética”, y se compone de dos sub-apartados. El primero describe el panorama de la distribución global de la generación de energía y las emisiones de GEI; el segundo, presenta los niveles de las emisiones GEI asociadas al parque vehicular privado en México, en Sonora y en el municipio de Hermosillo

El capítulo cuarto describe los aspectos metodológicos del estudio. La unidad de análisis, el procedimiento seguido para obtener los indicadores económicos y ambientales, la lógica de análisis, entre otros.

Posteriormente, en el quinto capítulo, se presenta los resultados descriptivos y analíticos del estudio. Se describen los indicadores ambientales y económicos obtenidos en el periodo de interés (1997-2010); se presenta el análisis derivado de correlacionar ambos indicadores; así como las ventajas y áreas de oportunidad que representa la integración del medio ambiente en los estudios económicos, en base a los principales argumentos y planteamientos de las escuelas económicas retomadas en el trabajo. Finalmente, con este tipo de argumentos y reflexiones, centradas en los objetivos que dieron pie a este trabajo, se presentan las principales conclusiones de la investigación.

II. SISTEMAS CLIMÁTICOS Y GASES EFECTO INVERNADERO (GEI)

Los sistemas climáticos están compuestos por diversos factores, entre estos encontramos el océano, la atmosfera, las zonas continentales, los hielos polares y los procesos que mueven y transforman energía alrededor de la superficie terrestre (Steffen & Hughes, 2013)

Dentro de las características más importantes del sistema climático terrestre encontramos el “efecto Invernadero”. Dicho efecto modifica el balance de energía en la superficie terrestre. Este fenómeno es resultado de las características de varios gases en la atmósfera y como su nombre lo indica, imita el efecto de un invernadero que permite que la energía de radiante del sol penetre generando el calor necesario para calentar el interior del invernadero (Steffen & Hughes, 2013).

Este efecto sucede cuando la energía radiante proveniente del sol penetra a través de la atmosfera de la tierra, parte de esta radiación es reflejada de vuelta al espacio por las nubes, así como las capas de hielos polares que actúan como grandes superficies reflectantes. Sin embargo gran parte de esta energía es absorbida por la tierra y el agua en la superficie terrestre (Steffen & Hughes, 2013). Para mantener el equilibrio energético, la tierra emite al espacio el equivalente a la energía que absorbe, sin embargo esta energía se emite de forma diferente a la que fue absorbida, en forma de calor y no de luz. Es en este punto donde los gases de efecto invernadero actúan. Aunque en su mayoría no absorben la energía luminosa, tienen la capacidad de absorber energía en forma de calor proveniente de la tierra, manteniendo la temperatura más alta en las capas más bajas de la atmosfera, calentando la superficie terrestre. Es importante destacar que los gases de efecto invernadero con mayor tiempo de vida en la atmósfera son el dióxido de carbono, el metano y el óxido nitroso (Steffen & Hughes, 2013).

Un hecho importante es que el efecto invernadero es de vital importancia para la vida en la tierra tal y como la conocemos. Sin dicho efecto la superficie de la tierra sería unos 30° C más fría de lo que es hoy. Bajo estas condiciones la vida como la conocemos ciertamente no existiría (Steffen & Hughes, 2013).

Además de los gases de efecto invernadero, existen otros factores capaces de afectar el balance energético del planeta y por lo tanto capaces de alterar el clima terrestre. Dentro de estos otros factores encontramos de manera significativa la actividad solar que regula la energía entrante a la atmósfera. Por otro lado encontramos la actividad volcánica que puede afectar el balance energético emitiendo a la atmósfera grandes cantidades de partículas capaces de reflejar la radiación solar al espacio enfriando así la atmósfera por un periodo indeterminado (Steffen & Hughes, 2013).

Una característica importante dentro del balance energético es la regeneración del sistema climático denominada retroalimentación. Una retroalimentación se produce cuando un cambio en el sistema se impone un cambio inicial, el cual desencadena respuestas dentro del sistema para amplificar o amortiguar el cambio inicial (Steffen & Hughes, 2013).

Durante mucho tiempo las actividades humanas han afectado el clima, pero es solo después de la revolución industrial y especialmente desde la década de los 50's del siglo pasado, en el que las actividades humanas según (Steffen & Hughes, 2013) se han hecho tan importantes que están cambiando el clima a escala global. La influencia humana sobre el clima más importante es la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera provenientes de la quema de combustibles fósiles. Dichas emisiones han aumentado en un 40 por ciento desde inicios de la revolución industrial.

Dentro de este fenómeno es rescatable que el efecto invernadero generado en la atmósfera desde principios de la revolución industrial está atrapando cada vez más calor, este calor se acumula en toda la atmósfera, en la superficie de la tierra y en los océanos (Steffen & Hughes, 2013).

Otras actividades humanas que también influyen en el clima terrestre son por ejemplo, la contaminación local y regional de aire, mediante la emisión de aerosoles, pequeñas partículas reflectantes que afectan principalmente el clima causando un enfriamiento y por

lo tanto contrarrestando el efecto invernadero, pero que a su vez son capaces de afectar la cantidad y la distribución de las precipitaciones pluviales. Otro ejemplo es el uso y cambio de uso de suelo, como la conversión de los bosques en tierras de cultivo que a su vez afecta tanto de manera local como regional el clima mediante la alteración de la cantidad de luz solar que es absorbida o reflejada por la superficie terrestre, así como el cambio en la tasa de evapotranspiración. De igual manera la urbanización también tiene un efecto local y regional modificando el balance energético en un área específica (Steffen & Hughes, 2013).

La preocupación por las anomalías de tipo socio-económico vinculadas con tales alteraciones climatológicas, llevó al *Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente* y a la *Organización Mundial de Meteorología* a fundar en 1998 el *Panel Intergubernamental para el Cambio Climático* (IPCC, por sus siglas en inglés) cuyo propósito será generar, analizar y evaluar “...información científica, técnica y socioeconómica relevante para la comprensión del riesgo del cambio climático inducido por el hombre”. El IPCC, conformado por tres grupos de trabajo, elaboran y presentan de manera coordinada y conjunta diversos informes científicos sobre la vulnerabilidad climática y modelos de estimación de gases efecto invernadero (IPCC, 2004). Los reportes sobre el clima y el tiempo presentados a la fecha, dan cuenta de la magnitud de tal problemática.

2.1. La Ciencia y el Cambio Climático

En la actualidad diversos grupos de científicos recogen datos con la finalidad de aprender donde y cuando el dióxido de carbono entra y sale de la atmósfera (Ciclo del carbono). Debido a que los océanos y plantas mediante sus procesos naturales absorben más dióxido de carbono del que generan, por lo cual son denominados sumideros de carbono. Por otro lado se denomina como fuente de carbono a cualquier lugar o proceso que libera dióxido de carbono a la atmósfera. Dentro de las principales fuentes generadores de dióxido de carbono está la descomposición natural de plantas y animales muertos, siendo los microorganismos los principales responsables al descomponer la materia orgánica

liberando como residuo el dióxido de carbono. Otras fuentes de naturales de carbono son los incendios forestales y los volcanes (kennedy, 2009).

Sin embargo, a diferencia de las fuentes naturales de carbono, existen las fuentes antropogénicas. La mayor fuente de carbono propiciada por el hombre es la utilización de combustibles fósiles como petróleo, gas o carbón mediante su transformación para fines energéticos o la fabricación de diversos productos (kennedy, 2009).

Otro tipo de fuente antropogénica es el uso y cambio de uso de suelo, la eliminación permanente de bosques, comúnmente conocido como deforestación, actividad responsable de emisiones considerables de dióxido de carbono; carbón previamente secuestrado en los árboles y posteriormente liberado a la atmosfera mediante la su combustión o la producción de diversas materias (kennedy, 2009).

Las emisiones antropogénicas de dióxido de carbono son pequeñas en comparación con las fuentes naturales de carbono. Dichas emisiones son aproximadamente de 8.7 miles de millones de toneladas de carbono anualmente, y este número sigue aumentando. El Uso y cambio de uso de suelos fue responsable de emisiones netas de 1.5 miles de millones de toneladas de carbono año con año durante los últimos 15 años (kennedy, 2009).

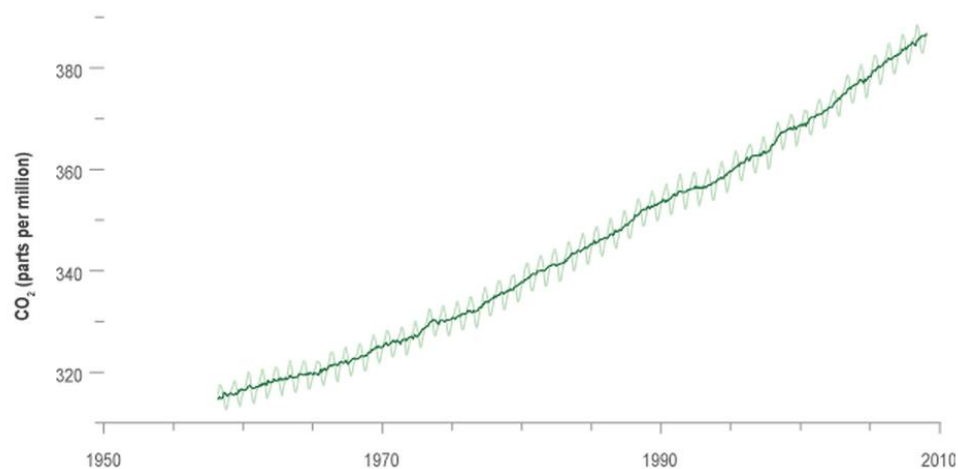
Los procesos geológicos naturales han ayudado a disminuir el aumento acelerado de las emisiones de dióxido de carbono, eliminando gradualmente el 57 por ciento del dióxido de carbono generado por las actividades humanas anualmente en un periodo de 50 años (1958-2008). Sin embargo, la continua generación de emisiones de carbono a la atmosfera, poco a poco está superando la capacidad de los sumideros de carbono para absorberla y como resultado el dióxido de carbono se está acumulando en la atmosfera. Es importante aclarar que actualmente el dióxido de carbono en la atmosfera es de 387 ppm, es decir más de un 35% por encima de su nivel más alto por lo menos en los últimos 800 mil años (kennedy, 2009).

Estudios científicos realizados los últimos años, han mostrado la presencia de alteraciones significativas en la temperatura de la atmósfera terrestre, fenómeno denominado calentamiento global por el alcance del cambio climático implicado (kennedy, 2009).

En 1958 Charles David Keeling inició con su proyecto de recopilación de datos con el apoyo de Harry Wexler del Servicio Meteorológico de los Estados Unidos y Roger Revelle del Instituto Scripps de Oceanografía; dicho proyecto estaba dirigido a tomar mediciones de dióxido de carbono en el observatorio Mauna Loa. En dicho estudio, se descubrió que la concentración media de dióxido de carbono en 1959 fue mayor que el año anterior y encontró que el promedio para 1960 era aún mayor que el de los años anteriores (Kennedy, 2009)

...Con los años, continuó Keeling la reunión de mediciones en Hawai y amplió su programa de muestreo para otros lugares en todo el mundo, incluyendo el Polo Sur. Año tras año, en todas las localidades, las concentraciones de dióxido de carbono promedio continuaron subiendo. Keeling y otros llegaron a la conclusión de que los océanos no estaban absorbiendo todo el dióxido de carbono producido por la quema de combustibles fósiles. Más bien, el dióxido de carbono se acumulaba en la atmósfera (Kennedy, 2009).

Figura 2. Emisiones de Dióxido de Carbono (ppm) durante 50 años (1960-2010)



Fuente: Imagen extraída de (NOAA) CLIMATE.GOV. , <http://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/carbon-dioxide-earths-hottest-topic-just-warming>

Las emisiones de millones de toneladas de dióxido de carbono generadas por los hombres durante cada año, implica como la humanidad ha generado un incontrolado cambio sobre el sistema climático, ya sea para bien o para mal, lo cual ha llevado a un grupo internacional de investigadores expertos en clima a que la hipótesis de Arrhenius era cierta (Kennedy, 2009).

...el aumento de la abundancia de dióxido de carbono se está desacelerando la velocidad a la cual el calor se escapa por la parte superior de la atmósfera de la Tierra (Kennedy, 2009).

Las observaciones de dicho grupo de investigadores han confirmado que el calentamiento global es inequívoco desde 1900, además han mostrado que la temperatura media del planeta ha aumentado aproximadamente unos 1.5°C, siendo los aumentos más importantes generados en la década de los 70's (Kennedy, 2009).

Algunos autores afirman que el cambio climático es resultado de las actividades humanas y que generan tanto afectaciones positivas como negativas: provoca modificaciones en los fenómenos climatológicos, anomalías en la precipitación pluvial, afectaciones marítimas por el deshielo en los polos y, en consecuencia, inundaciones, sequías, daños a los sistemas agropecuarios y económicos en diversas regiones del globo (Magaña Rueda, 2004).

2.2. Vulnerabilidad Climática y GEI Ligados a Actividades Antropogénicas

El IPCC define el tiempo como la fluctuación cotidiana del estado atmosférico caracterizado por las variaciones de precipitación, viento, nubes y otros factores hidrológicos; el clima, como el promedio de las variaciones meteorológicas en un periodo y área definida (A.P.M & E. Ahlonsou, Y. Ding, D. Schimel, 2001); y el clima global como un estado dependiente de varios factores de afectación parcial o general que provienen, a la vez, de una serie de procesos denominados de “forzamiento interno” como son, por ejemplo, la actividad solar, la interacción entre las corrientes marinas y los continentes y factores atmosféricos como las altas concentraciones de gases efecto invernadero (GEI) –estos últimos, se atribuyen sobre todo a procesos antropogénicos-.

Es decir, las actividades humanas impactan los procesos climatológicos pero son sólo una parte de la gama de forzamientos externos que de manera conjunta alteran los procesos ambientales y provocan anomalías climáticas en el largo plazo “...sabemos de ciertos factores que pueden producir cambios en el clima, aunque no de manera precisa. Tal es el caso del cambio climático del último siglo” (Magaña Rueda, 2004: 17 y 18).

Se sabe que la variabilidad de los sistemas climáticos terrestres ha estado presente durante los últimos cuatro mil años -expresándose en temperaturas que oscilan de climas cálidos hasta eras glaciares-. Pero también, que al pasar de los años, las oscilaciones fueron menos frecuentes y se mantuvo una relativa estabilidad climática, al grado que, durante el siglo XIX “...es poco probable que la temperatura media global haya variado más de 1°C” (Estrada Porrúa, 2001).

La situación cambia posteriormente. Estimaciones realizadas al respecto, muestran que del siglo XVII a la fecha, el dióxido de carbono se incrementó en un 31%, el metano un 151% y el óxido nitroso un 17%. De manera paralela, la temperatura se ha incrementado entre 4°C y 8°C; el nivel del mar se ha elevado entre 10 y 20cm; y han disminuido los glaciares no polares. (Estrada Porrúa, 2001). La incidencia de los fenómenos climáticos extremos en los últimos dos siglos se han incrementado de manera significativa, generando variaciones en las precipitaciones pluviales, haciéndolas más intensas o más escasas e intensificado también las sequías.

Tales modificaciones se atribuyen al modelo de producción industrial que propició el uso e intensificación de nuevos esquemas energéticos, como fueron, precisamente, la máquina de vapor y el motor de combustión interna, que perpetúan los grandes sistemas de producción, desarrollo tecnológico e industrial, en casi todas las actividades económicas y de servicio (Estrada Porrúa, 2001).

Hoy en día, el consenso entre especialistas es que el modelo de producción industrial predominante es parte causal del cambio climático, al privilegiar la producción y consumo indiscriminado de mercancías y potenciar el uso de energías convencionales. Desde 1995, estudios realizados por el IPCC en torno a los procesos climatológicos y sus variaciones, daban cuenta del impacto que ciertas actividades humanas generaban a nivel climático “...el balance de evidencias sugiere que hay una influencia humana discernible en el clima global” (Magaña Rueda, 2004, pág. 18).

En otras palabras, el significativo incremento de las emisiones GEI que han alterado el balance de los sistemas climáticos en la tierra del siglo XX a la fecha, se atribuye a procesos antropogénicos vinculados con el uso de combustibles fósiles, la utilización de

suelos para usos agropecuarios, la elaboración y manufactura de productos de origen petrolífero, y diversos procesos tecnológicos, entre otros (IPCC G. d., 1997).

El problema es que está aún pendiente el análisis de tal problemática por sector, sistema y/o región en varios países del mundo (Claire Reinburg, Reinburg, Cocke, Smith, & Cusick, 2006)

2.3. . La Agenda Internacional en Atención a las Emisiones GEI y Participación de México

La problemática ambiental asociada a las emisiones GEI se reconoce en la agenda de los organismos internacionales, y presionarán a todos los países, sobre todo a las economías de primer mundo, a tomar acciones al respecto.

A mediados de los años 80's, la *Organización Meteorológica Mundial* y el *Programa de las Naciones Unidas para el Medio ambiente*, tomaron la iniciativa de realizar un compendio de información científica sobre el incremento en la concentración de diversos gases atmosféricos con capacidad de alterar el equilibrio climático. La creación del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático en 1988 fue resultado de tal iniciativa (de Alba, 2004).

A finales de la década de los 90's, el IPCC inicia trabajos de negociación con el propósito de generar consensos para elaborar una "*Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*". Las variadas opiniones de los países respecto a dicha convención durante ese entonces, reflejaban los problemas geopolíticos de la década (de Alba, 2004). Resultado de las negociaciones enfocadas a reducir la concentración de diversos gases atmosféricos, se presenta una distinción de dos grupos para definir sus responsabilidades. En el Grupo Anexo I quedaron incluidos todos los países en vías de desarrollo; y en el grupo Anexo II, los países industrializados. Los primeros se comprometen a disminuir sus emisiones dentro de lo posible y sin capacidades económicas; los segundos, a disminuir sus emisiones y a apoyar a los países del primer grupo con financiamiento para cumplir

sus metas. Ambos grupos, acuerdan presentar informes de avances y cuantificar sus emisiones con el propósito de entender mejor la problemática y compartir la información (de Alba, 2004).

Ese tipo de iniciativas, llevó a que los países dependientes e independientes de los hidrocarburos así como las ONG ambientalistas, considerasen la Convención como una gran oportunidad para abatir el consumo de combustibles fósiles y con ello, las emisiones GEI (de Alba, 2004). Con excepción de EUA y los países de Asia-Pacífico, los países industrializados se comprometieron a reducir sus emisiones GEI. Quizá por lo mismo, a principios de este siglo, EUA mantiene su posición histórica como el país más contaminante (en el siglo XX generó el 30% de las emisiones GEI), seguido por China - 24% y 12.8% de las EGEI, respectivamente- (Arvizu Fernández, 2004).

En lo que respecta a México, se compromete con algunas iniciativas de tal agenda internacional. Recordemos que, en mayo de 1994 se había integrado a la *Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico* pero como en aquellos años quedó fuera del Grupo Anexo I de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), también salió del “Grupo de los 77 y China. Al entrar en vigor la CMNUCC, la 1ª “Conferencia de las partes” (COP-1), adoptó el “Mandato de Berlín”. Tal documento señalaba el proceso a seguir por los países del Grupo Anexo 2 para revisar los compromisos asumidos de reducir sus emisiones GEI. El país adopta el “Protocolo de Kioto” en 1997, durante “La Conferencia de las partes III” (COP-3), sin alterar sus obligaciones generales (Tudela, 2004).

A mediados de los noventa, al negociarse otra vez el protocolo de Kioto, México responde a la presión internacional y se incorpora al Grupo Anexo I de la CMNUCC, basado en su adscripción a la OCDE y se compromete “voluntariamente” a cuantificar sus emisiones GEI (Tudela, 2004). Este compromiso implica identificar y cuantificar las emisiones contaminantes que se generan a fin de establecer acciones ad hoc a cada caso. A partir de entonces, se empiezan a elaborar estudios para valorar, precisamente, la magnitud del problema y delinear acciones por región y sector económico de interés.

2.4. . Naturaleza, Urbanización, Productos Energéticos y Problemática Ambiental

Sin duda, los actuales sistemas de sustento social, están basados en procesos intrínsecamente ligados al ambiente. La naturaleza es el origen de la base alimentaria, de los productos para la construcción o manufactura de bienes materiales y de los productos energéticos que siguen situados en la base de la pirámide de producción de la gran mayoría de los bienes y servicios, sea por su transformación y/o utilización en forma de energía.

Hoy en día, el funcionamiento social de gran parte de la humanidad depende de servicios que requieren de alguna forma de energía, por ejemplo: controlar la temperatura en espacios cerrados, moverse entre ciudades, realizar actividades por la noche y conservar o preparar los alimentos, son sólo algunas de las actividades que sólo son posibles de realizar si se tiene un dispositivo que transforme alguna forma de energía en luz, movimiento, calor o frío.

La posibilidad de acceder a tal energía en cantidad y calidad suficiente, constituye un elemento central en la vida cotidiana y funcionamiento económico de la población que habita, sobre todo, en localidades urbanas. Estas últimas, son las más afectadas ante un problema de disponibilidad de energía, particularmente porque decrece su capacidad de suministrar los servicios (agua, energía, transporte, salud, etc.), lo cual impacta directamente el ingreso y sustento familiar al limitarse su capacidad productiva. Se genera un efecto dominó que inicia con las afectaciones físico-atmosféricas y termina por alterar las capacidades sociales de la población. Este tipo de escenarios, pone a prueba la habilidad que tiene la sociedad para mitigar, precisamente, esos factores de origen humano que están vinculados con el desarrollo y magnitud del problema ambiental en cuestión (PNUAH, 2011).

La Organización de las Naciones Unidas, reconoce que la mayor parte del consumo mundial de energía se produce en las ciudades como resultado directo de su propio funcionamiento y precisa que muy pronto alrededor del 50% de la población mundial habitará en ciudades que serán responsables del 75% del consumo mundial de energía (SMA-GDF, 2008). Si bien los efectos del cambio climático suponen una mayor amenaza a la estabilidad ambiental, económica y social de las localidades urbanas, es importante

señalar que la afectación es diferenciada por segmentos demográficos, “...la capacidad de las diferentes poblaciones urbanas para saber llevar la situación o adaptarse a ella está influenciada no solo por la edad y el género, sino también por una combinación de otros muchos factores incluyendo el capital humano, económico, físico, natural y social” (PNUAH, 2011, pág. 17).

Así como hay responsabilidades diferenciadas en la contribución de la población a las emisiones GEI (varía según diversos factores relacionados entre sí que determinan los patrones del consumo de energía y las emisiones GEI), los impactos sociales que tal problemática genera también varían por contexto social y estrato económico de pertenencia. Como bien señala Pardo Buendía (2007, PNUD, 2000), “...*el sistema energético actual es insostenible por consideraciones de equidad, así como por problemas medioambientales, económicos y geopolíticos que tienen implicaciones a muy largo plazo*”.

De ahí la importancia de estudiar las interrelaciones existentes entre impactos económicos-sociales y ambientales desde el punto de vista regional.

Es fundamental contar con estudios y cifras específicas respecto a los costos asociados a ciertos indicadores base a fin de “...*diseñar, implementar y evaluar políticas públicas enfocadas a aminorar los costos del cambio climático*” (Sánchez Vargas, 2012, pág. 6). El problema adicional es que en buena parte de las localidades urbanas, se carece de estudios al respecto, es decir, “...*no han tratado de llevar acabo inventarios de las emisiones de Gases*” (PNUAH, 2011). Es notoria la carencia de estudios por sistema, sector o actividad de origen, por localidad geográfica a nivel nacional, a fin de cuantificar su participación en las emisiones GEI y estar en posibilidad de impulsar acciones pertinentes al respecto.

En la ciencia económica, esta preocupación ha llevado a integrar la variable ambiental en los estudios y modelos que proponen. En los últimos años, han empezado a emerger en el pensamiento económico, distintos enfoques o maneras de abordar el análisis de esta problemática, como se esboza en el capítulo siguiente.

III. NATURALEZA O AMBIENTE EN EL PENSAMIENTO ECONOMICO

Este capítulo tiene el propósito de esbozar cómo la ciencia económica integra el análisis del medio ambiente y problemática vinculada. Se describen algunos planteamientos que emergen al respecto en la economía ambiental, la economía ecológica y la economía institucional. También, se presenta el paradigma de la sustentabilidad ligado a la temática del desarrollo, la gobernanza, la región y el territorio, como ejes de una estrategia de desarrollo rural integrado.

3.1. Medio ambiente, Objeto de Estudio Olvidado de la Ciencia Económica.

Como bien señala Chang (2005), cuando la ciencia o una corriente de pensamiento deja fuera de su objeto de estudio, por cuestiones de tipo filosófico o ideológico, fenómenos que son sujeto de apropiación de conocimiento, con el tiempo, la propia evolución del fenómeno real y del conocimiento –o ambas-, muestran la necesidad de subsanar tal ausencia, lo cual hará la misma disciplina científica o bien, otra más capaz de internalizar aquellos factores ignorados, adoptando, en algunos casos, un enfoque integrador. En la ciencia económica así ha sucedido con el medio ambiente y los llamados recursos naturales “libres” o no sujetos de apropiación privada: por bastante tiempo fueron ignorados como objeto de estudio por el arsenal teórico-metodológico de la economía, particularmente por la corriente neoclásica.

La visión de la biosfera como un factor determinante dentro de los procesos económicos y de mercado, no es un pensamiento reciente. Desde tiempos remotos, nuestros antepasados tenían la creencia de que la tierra les fue dada para producir y autosustentar su existencia, posteriormente los fisiócratas, a mediados del siglo XVIII, afirmaban que la economía debería basarse en los procesos de agricultura y el hombre basar su producción en la capacidad de la tierra para regenerarse, es decir la capacidad de la tierra para proveer y sustentar la vida (Chang, 2005).

Sin embargo, con el pasar de los años también durante el siglo XVIII, al surgir la economía clásica y el positivismo moderno, se concibe la idea de que la naturaleza debe ser dominada y colocada al servicio del hombre. La economía deja de lado las ideas fisiocráticas y ganan peso los planteamientos de la escuela neoclásica que centra el análisis en los sistemas de producción y distribución de la riqueza. No obstante, Malthus con su teoría de la dinámica demográfica y Ricardo con su teoría de rendimientos decrecientes, a fines del siglo XVIII, trataron de mostrar cómo los procesos económicos debían adecuarse a procesos de equilibrio entre producción y regeneración de la tierra ya que de no ser así se llegaría a un estado estacionario o de estancamiento (Chang, 2005).

La revolución industrial del siglo XIX, marca la ruptura entre la economía y el medio ambiente. La invención de la máquina de vapor y poco después el motor de combustión interna en nombre del crecimiento y desarrollo económicos, se constituyeron en los medios tecnológicos que potenciaron la problemática ambiental vinculada a la emisión de contaminantes. El desarrollo le apuesta a un modelo de producción que prioriza el crecimiento, la producción y el consumo indiscriminado de mercancías, obviando o dejando de lado, el impacto que tal crecimiento generaba en el medio ambiente (Leff, E., 2006; Sosa, 2003; Barrón A., 2003).

Sin embargo, más adelante, durante el siglo XX, al recrudecerse los problemas de polarización social y expresarse a nivel mundial el deterioro ecológico, se pone en duda la visión de progreso indefinido que acompañó el inicio de la revolución industria y el llamado “desarrollo modernizador”; quizá por lo mismo, resurge en esos años el interés por integrar al análisis del ciclo económico aquel viejo “objeto de estudio” olvidado por los neoclásicos, el medio ambiente.

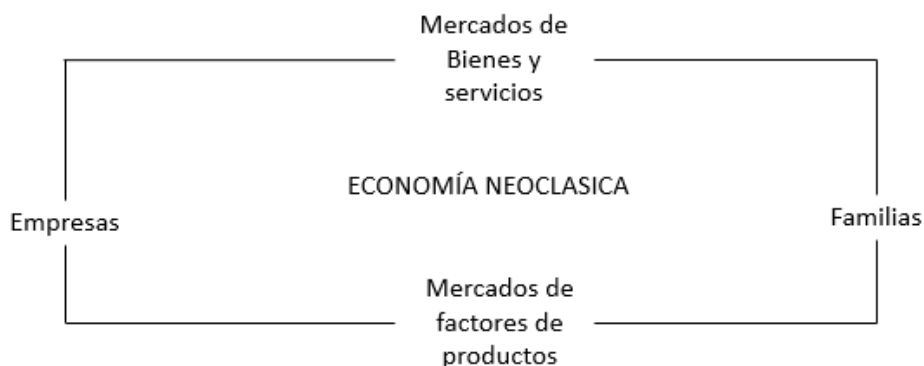
3.2. La Integración del Medio Ambiente en el Pensamiento Económico.

A continuación, una breve revisión de tres escuelas de pensamiento económico que integran en el discurso y lógica analítica del sistema económico, el medio ambiente y los recursos naturales. Se presentan sus respectivos planteamientos conceptuales y la lógica de análisis que proponen. El propósito es mostrar cómo tales corrientes de pensamiento económico permitirían valorar la eficiencia del sector transporte, tomando en cuenta indicadores económicos y ambientales.

3.2.1. Economía Ambiental o del Medio Ambiente.

En la economía neoclásica el medio ambiente era considerado una externalidad, es decir, un factor que si bien era capaz de afectar la producción de la riqueza, podía ser omitido en los balances económicos particularmente porque no era sujeto de apropiación privada. Al ser carente de valor económico, no era sujeto de transacciones comerciales, se mantenía fuera del mercado. El medio ambiente es tratado como un factor desprovisto de valor en el sentido que marca la economía neoclásica: no es sujeto de propiedad, no es producible ni sustituible o intercambiable. En la ilustración 1, se muestra como la economía neoclásica concibe el funcionamiento económico de la sociedad.

Ilustración 1. Esquema de procesos de la economía neoclásica.



Fuente: Divisiones de la economía del libro Curso de Economía Ecológica de Juan Martínez Alier. Publicado por "Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Oficina Regional para América Latina y el Caribe", 1995.

Al evolucionar en el pensamiento económico la integración de la naturaleza y los bienes que ésta produce en el ciclo económico, emerge en la economía neoclásica el interés por otorgar valor económico a los recursos naturales (por ejemplo, el agua, el aire, la energía). Tal planteamiento se conoce como “internalizar las externalidades”. El ambiente adquiere características económicas como son el precio y el derecho de propiedad. En esta corriente económica, *“...el valor de un bien o servicio está dado por el deseo de pagar que exprese algún consumidor. Son, ciertamente, valores de uso los que se toman en cuenta y no se considera valor intrínseco alguno de los bienes”* (Barrantes, 1990, pág. 19).

El sustento teórico que acompaña a la economía del medio ambiente es la teoría sobre las externalidades. Las externalidades ocurren cuando las acciones de un agente económico afectan a otro directamente -en lo que se ha dado en llamar interdependencia directa - y no a través del sistema de precios. Las externalidades pueden tomar la forma de bien privado -rival y exclusivo- o de un bien público dependiendo de la naturaleza del bien y del número de agentes involucrados (Barrantes, 1990, pág. 9). En síntesis, la economía ambiental es la respuesta de los economistas neoclásicos a la problemática ambiental contemporánea: proponen incorporar esas externalidades (medio ambiente y problemas asociados) a su lógica de análisis del sistema económico y con ello, empiezan a considerar los bienes naturales como sujetos de valor, esto es, como bienes sujetos a las leyes de la oferta y la demanda. Esto ha implicado incorporar el medio ambiente y los recursos naturales al sistema económico como otro bien de capital (Chang, 2005).

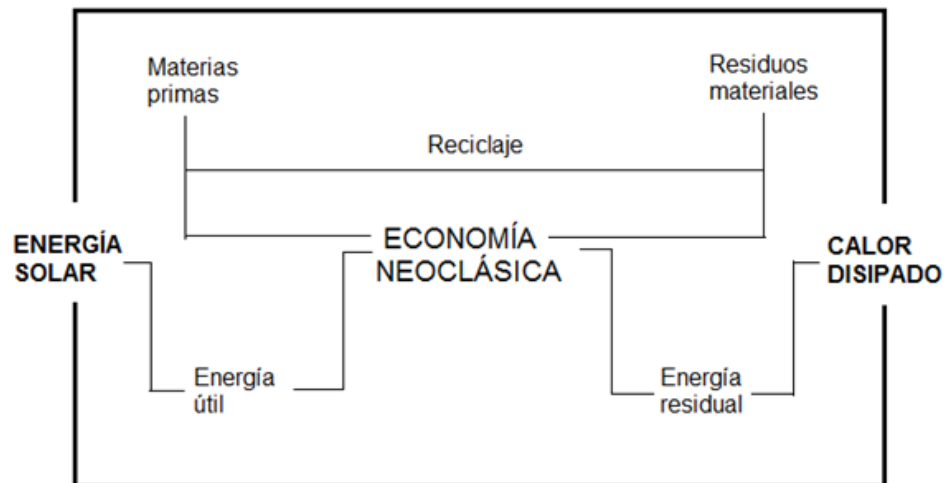
3.2.2. Economía Ecológica

A partir de la segunda mitad del siglo pasado, la necesidad de integrar el medio ambiente al análisis del ciclo económico, rebasa las fronteras de la economía neoclásica y se gestan otros enfoques y escuelas de pensamiento como la economía ecológica. Si bien sus orígenes se pueden remontar a los fisiócratas (siglo XVII y XVIII), en el siglo XX resurge en los años 60's, 70's y en los 90's con más fuerza. Plantea estudiar el medio ambiente adoptando un enfoque transdisciplinar, conectando planteamientos de distintas ciencias, como la ingeniería, la termodinámica, la ecología y la economía, entre otras.

“...gracias a los trabajos desarrollados en varios institutos de investigación como el Wuppertal alemán, el IEF austriaco o el World Resources estadounidense, se revitalizaron los trabajos de los pioneros [economía ecológica], alcanzando cierta madurez a finales del decenio [90’s] con la creación de la primera revista científica destinada a la nueva disciplina. (Naredo, Raíces económicas del deterioro ecológico y social: Más allá de los dogmas, 2006).

Esta perspectiva teórica, plantea que tanto la economía como la ecología son parte de un mismo sistema en movimiento en el cual fluye de manera constante el intercambio de energía y materia; por ende, propone integrar al análisis económico esas interconexiones que se dan entre energía y materia. Su objetivo fundamental es gestionar los sistemas productivos con base en la eficiencia de tales interconexiones tomando en cuenta la interacción de los ecosistemas en los diferentes niveles de agregación que tienen lugar, simulando su evolución autosustentable. (Naredo, Raíces económicas del deterioro ecológico y social: Más allá de los dogmas, 2006). La ilustración 2 muestra de manera esquemática cómo la economía ecológica modela ese flujo de relaciones sistémicas (economía y biosfera) mediadas por el flujo de energía y residuos.

Ilustración 2. Economía Ecológica: flujo relaciones sistémicas.



Fuente: Divisiones de la economía del libro *Curso de Economía Ecológica* de Juan Martínez Alier. Publicado por “Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Oficina Regional para América Latina y el Caribe”, 1995.

Propone integrar los procesos de la biosfera y del ecosistema al análisis de los procesos económicos, por considerar que cada uno forma parte de un todo a la vez que cada proceso es interdependiente, es decir, no puede existir sin la existencia del otro. En palabras de Manuel Naredo, esta corriente del pensamiento económico:

“...considera los procesos de la economía como parte integrante desde esa versión agregada de la naturaleza que es la biosfera y los ecosistemas que la componen... incorpora líneas de trabajo de la ecología industrial, urbana, ecológica etc., que recaen sobre el comportamiento físico y territorial de los distintos sistemas y procesos para razonar sobre los mismos en términos de eficiencia...” (Naredo, Raíces económicas del deterioro ecológico y social: Más allá de los dogmas, 2006)

3.2.3. Economía Institucional

Paralelo a la economía ecológica, se construye un discurso económico que abarca la problemática ambiental de manera más amplia, que si bien retoma su enfoque, establece plazos, escalas y niveles de agregación distintos. La economía institucional. Parte de un enfoque “eointegrador” que conjunta planteamientos de la economía ambiental y la economía ecológica. Asume que los problemas ecológicos o ambientales difícilmente se pueden abordar con la seriedad que la gestión diaria plantea (a nivel político, económico y social), sin tener un conocimiento físico y territorial ajustado de cada problema y una metodología que facilite su seguimiento. Es decir, por mucho que se conozca la vertiente física y territorial de los problemas ambientales, plantea que es ingenuo pensar en resolverlos sin tener en cuenta el marco institucional, los mecanismos de valoración y el comportamiento social que los originan.

La Economía institucional emerge de la conjunción de la economía ecológica y la economía ambiental. Sitúa sus objetivos en el marco de la conservación y calidad ambiental de los ecosistemas, integrando al análisis los factores “institucionales” involucrados en cada problemática. Esta propuesta, ha derivado en la gestión de diversos recursos (agua, tierra, energía, etc.), en la parte operativa de tal gestión y en la reflexión sobre las distintas formas de propiedad, intercambio y costos implicados en cada proceso.

“... la economía institucional...relativiza los óptimos formulados por la economía estándar, al advertir que vienen condicionados por la definición de los derechos de propiedad y de las reglas del juego que el marco institucional le impone, tratando de identificar aquellos marcos cuyas soluciones se adaptan mejor al logro de objetivos de la conservación del patrimonio natural o de calidad ambiental... (Naredo, 2006).

Los estudios y análisis publicados por el *Panel Intergubernamental para el Cambio Climático*, han abordado tal problemática desde esta perspectiva, integrando al análisis aspectos de tipo geológico, social y político. Parte central de tales estudios ha sido la generación de propuestas en el ámbito de la conservación ambiental y la elaboración de políticas públicas orientadas a modificar ciertos patrones económicos para mitigar así los efectos adversos del problema ambiental.

2.3. Desarrollo, sustentabilidad y gobernanza

Todo parece indicar que, el paradigma económico que marca la directriz del desarrollo en la actualidad, sigue privilegiando los criterios de valor económico sobre los criterios ambientales y/o de equilibrio entre ambos. Tal paradigma ha orientado el ordenamiento territorial de las regiones afectando su desarrollo.

Hasta hoy, los procesos de planificación instrumentados en cada ámbito territorial de una región dada, no han cumplido las expectativas de la población que habita dicho territorio, siguen sin resolverse tanto los problemas ambientales como los de tipo económico, social y cultural. Los cada vez más bajos niveles de bienestar que padece la población, ha provocado que los modelos de planificación territorial en los últimos años se vean cuestionados, minimizados e incluso dejado de lado (Gimaraes, 2001).

En tal contexto, emerge el paradigma de la sustentabilidad, entendido como “...*un proceso que permite satisfacer las necesidades de la población actual sin comprometer la capacidad de atender a las generaciones futuras*” (Gasca Zamora, 2010). Los planteamientos de este paradigma, se encuentran en algunos de los foros mundiales desarrollados en los últimos cincuenta años, concretamente, en la llamada *Conferencia*

Mundial del Medio Ambiente Humano (Estocolmo, 1972), la *Conferencia Intergubernamental sobre Educación Ambiental* (Tbilisi, 1977), la reunión de la *Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo* (ONU, 1984), la *Cumbre de la Tierra* (Río de Janeiro, 1992), el *Congreso de Sudáfrica sobre Desarrollo Sostenible* (Johannesburgo, 2002); entre otros.

El paradigma de la sustentabilidad distingue los factores región y capital (humano, físico y biológico) implicados en el desarrollo pero reconoce que todos ellos en conjunto determinan las características y las vías en las que una región puede desarrollarse. La preocupación central de este paradigma es cómo garantizar la subsistencia de una región sin que se vea afectada por los procesos productivos que en ella tienen lugar, es decir, cómo mantener constantes los procesos de regeneración del capital utilizado.

El paradigma de la sustentabilidad, propone adoptar un enfoque multi o trans disciplinar al estudiar el desarrollo regional. Esto es abordar la problemática del desarrollo en las diferentes vertientes del conocimiento que sean posibles para alcanzar la sostenibilidad social, económica e industrial a nivel regional, vía la integración de propuestas públicas de incentivación del desarrollo humano y eco sistémico. . En una perspectiva más objetiva, toma en cuenta diversos enfoques organizativos que aluden a lo “local”, “regional” y “territorial”. Postula por la preservación de la diversidad en su sentido más amplio –la sociodiversidad además de la biodiversidad–. Es decir, por el mantenimiento del sistema de valores, prácticas y símbolos de identidad que permiten la reproducción del tejido social y, por ende, garantizan la integración nacional a través de los tiempos. Ello incluye la promoción de los derechos constitucionales de las minorías y su incorporación en políticas concretas, como son, por ejemplo, la educación bilingüe, la demarcación y autonomía territorial, religiosidad, salud comunitaria, etc (Guimaraes, 2001).

Para comprender la propuesta del desarrollo sustentable, es conveniente precisar que se entiende por región, territorio e interrelaciones existentes.

El termino región, aunque puede ser abordado desde el punto de vista geográfico, se considera un espacio donde se dan interrelaciones sociales, políticas, económicas y biológicas entre entes que comparten diversas similitudes. La dimensión regional-territorial del paradigma del desarrollo sustentable, toma en cuenta los diversos aspectos

de los procesos que determinan sus posibilidades de desarrollo. Actualmente existe una dicotomía entre el enfoque ambiental y el enfoque de desarrollo, quedando generalmente los valores económicos por encima de los valores ecológicos tanto a nivel nacional como sub-nacional.

Sin embargo, la problemática ambiental contemporánea, apunta a sustituir el paradigma de desarrollo predominante a nivel global por el paradigma de desarrollo sustentable. Se plantea la necesidad de hacer factible un desarrollo social y económico real a nivel regional y territorial. Las iniciativas que incorporan el manejo de recursos naturales y actividades productivas en los espacios rurales, se expresan en distintas políticas y programas gubernamentales desde la década de los setenta del siglo pasado (Gasca Zamora, 2010).

En vías del desarrollo sustentable, se pugna por una mayor participación social que propicie el desarrollo regional endógeno a nivel eco sistémico, el mayor bienestar social y valores de equidad y respeto por los sistemas ecológicos. Esta nueva gestión del desarrollo implica un sistema de gobernanza donde la toma de decisiones se base en información relevante y veraz acerca de la problemática ambiental, los ecosistemas y la capacidad de regeneración de los recursos renovables. El desarrollo rural integrado constituye hoy en día un referente del desarrollo sustentable, considera el nuevo modelo de gobernanza para la preservación de los ecosistemas como base de lo que se ha dado en llamar “desarrollo regional territorial sustentable”.

Por lo mismo, uno de los principales desafíos de los gobiernos hoy en día, es cómo propiciar un proceso participativo y transparente para el debate y toma de decisiones en la elaboración de políticas públicas orientadas a fortalecer esa visión sustentable en el manejo de los recursos naturales y los sistemas productivos (Guimaraes, 2001). Se habla de una planificación sectorial y multifuncional de políticas públicas enfocadas al desarrollo integral (Gasca Zamora, 2010).

La perspectiva territorial del desarrollo sustentable, destaca la participación social en sus distintos niveles y sistemas (gobierno, población civil, académicos, empresarios, etc.); una planificación multinivel y multidimensional con la participación de gobiernos nacionales, subnacionales y regionales. Se espera que los gobernantes, la población en general y los

dirigentes sociales, impulsen políticas que faciliten el desarrollo y consolidación de procesos de gestión ambiental basados en las características y peculiaridades del territorio. Tal posibilidad de gestión está presente en el caso de las emisiones GEI por actividad sectorial de origen, pero sigue ausente en el caso del sector transporte terrestre.

IV. SISTEMA DE PRODUCCIÓN ENERGÉTICO Y SECTOR TRANSPORTE

Actualmente, el motor de la economía global sigue siendo la satisfacción de requerimientos y necesidades humanas, lo cual implica la extracción, producción, transformación y distribución de productos transformados en bienes o servicios para cubrir esas necesidades. Si esto es así, "...la producción, transformación, distribución y consumo de energía tienen como finalidad la satisfacción de necesidades energéticas" (Bouille, 2004). Afirma este autor, que las necesidades energéticas cotidianas han jugado un papel importante en los procesos evolutivos y tecnológicos de la sociedad, desde los tiempos antiguos cuando se utilizaban combustibles fósiles y no fósiles (leña y carbón), la revolución industrial con el surgimiento de la máquina de vapor y la utilización del motor de combustión interna, hasta épocas más recientes vinculadas a la producción de energía nuclear, eólica y solar. En todos los casos, para bien o para mal, el propósito de cada modelo productivo ha sido satisfacer las necesidades energéticas humanas.

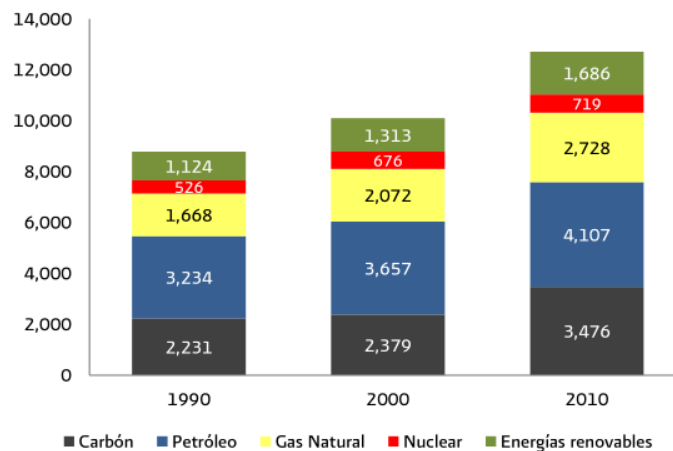
La energía se constituye en un bien necesario y útil en casi todos los procesos cotidianos que van desde la extracción de materias primas (inclusive productos energéticos), hasta la producción y manufactura de una gran gama de productos y servicios. Es un recurso imprescindible en el actual esquema de desarrollo e incluso, quizá, el bien más importante para el bienestar y el desarrollo (Bouille, 2004). Sin embargo, el impacto ambiental que genera el modelo energético basado en energías no renovables y altamente contaminantes (combustibles fósiles y energía nuclear), es la otra cara de la moneda.

4.1. Modelo Energético Convencional: Impacto Ambiental y Responsabilidad.

Si bien la mayor parte de las actividades económicas y de servicios dependen de procesos de producción, transformación, transporte y consumo final impulsados por el consumo de energía; se sabe que casi todos son de gran impacto ambiental y que involucran la transformación de los sistemas naturales. Mediante la combustión de energía fósil, el uso y cambio de uso de suelo, la transformación de materias primas y la generación de desechos, se generan las nocivas emisiones GEI. Es la propia generación de energía tanto de fuentes fijas como de fuentes móviles, la principal generadora de dichos gases.

No obstante, en los últimos veinte años, la demanda mundial de energía convencional se mantiene creciente, y sigue siendo marginal la demanda de energías renovables (fig.1). El año 2009, por ejemplo, la producción total de energía primaria fue de 12,291.7 millones de toneladas equivalentes de petróleo¹ a nivel mundial, poco más del 80% de la energía generada provenía de combustibles fósiles (petróleo, gas natural y carbón), y menos del 20% de energías renovables (energía eólica, solar, entre otras) (SENER, 2011)

Figura 3. Distribución de la demanda mundial de energía 1990-2010 (Millones de toneladas de petróleo equivalente)

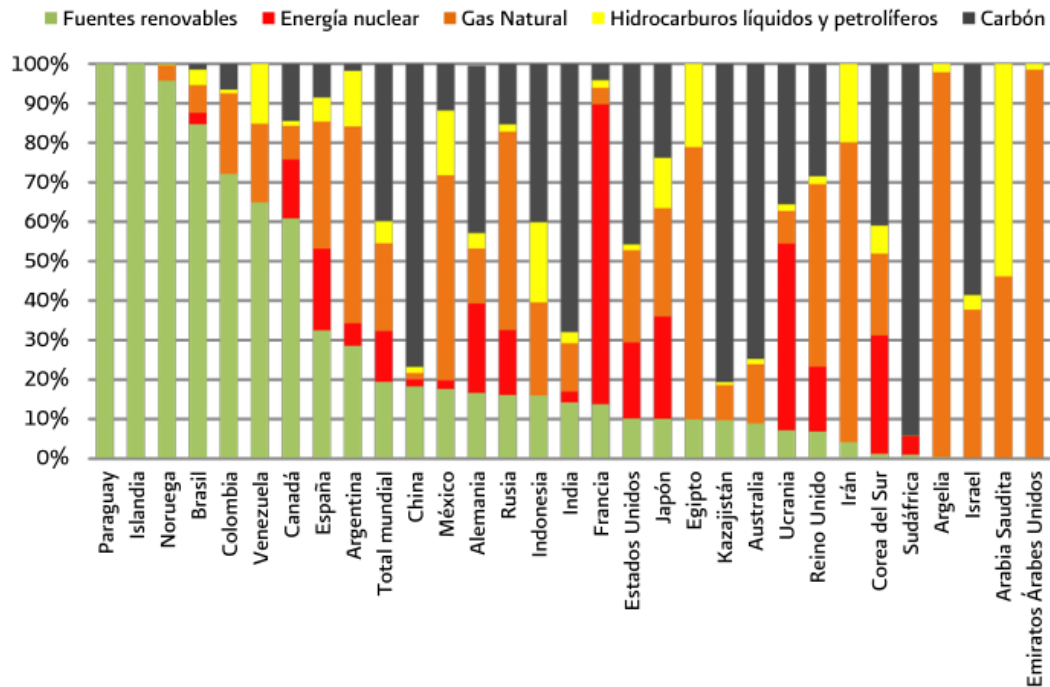


Fuente: International Energy Agency. 2012. World Energy Balances (Tomada de "Prospectiva de Energía renovable 2014-2026, SENER).

¹ Toneladas de petróleo equivalentes, hace referencia a una unidad de comparación para englobar la energía generada a partir de diversos productos energéticos, dichos valores se hacen a partir de la conversión de unidades de masa (combustibles) a unidades de energía para después transformarlos a unidades de masa pero de petróleo.

Los países con más producción primaria de energía² fueron China, Estados Unidos, Rusia, Arabia Saudita e India, en conjunto, lograron casi el 50% de tal producción a nivel mundial. Paradójicamente, casi todos estos países dependen de las importaciones de energía para satisfacer sus necesidades energéticas (SENER, 2011). No es casual que la mayor parte de los efectos ambientales adversos del modelo energético convencional, se atribuyan a las grandes economías mundiales precisamente porque el desarrollo industrial logrado tiene como base el uso de energías no renovables (fig. 2). Si bien son pocos los países partícipes en la producción mayoritaria de emisiones GEI, el impacto ambiental asociado al modelo energético convencional ha tomado una dimensión global.

Figura 4. Composición de la generación de electricidad tipo de energía en algunos Países 2010 (Participación porcentual)



Fuente: World Energy Balances 2012, Extended Energy Balances, EA, 2012 (Tomada de “Prospectiva de Energía renovable 2014-2026, SENER)

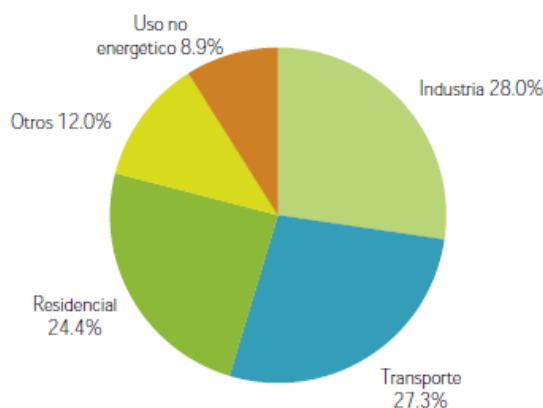
²La energía primaria comprende aquellos productos energéticos que se extraen o captan directamente de los recursos naturales. En este balance se consideran los siguientes: carbón mineral, petróleo crudo, condensados, gas natural, núcleo-energía, hidro-energía, geo-energía, energía eólica, energía solar, bagazo de caña y leña. Este tipo de energía se utiliza como insumo para obtener productos secundarios o se consume en forma directa (SENER, 2011).

4.2. Consumo Energético del Sector Transporte

4.2.1. Consumo Energético a Nivel Mundial

El año 2009, la sociedad mundial utilizó 8,352.8 millones de toneladas equivalentes de petróleo para cubrir sus requerimientos energéticos. Después del sector industrial (fig. 1), el sector transporte en sus diferentes modalidades (aéreo, marítimo y terrestre), es el que mayor participa en el consumo energético mundial, conjunta el 27% del total (SENER, 2011)

Figura 5. Consumo energético por sector a nivel mundial (2009)

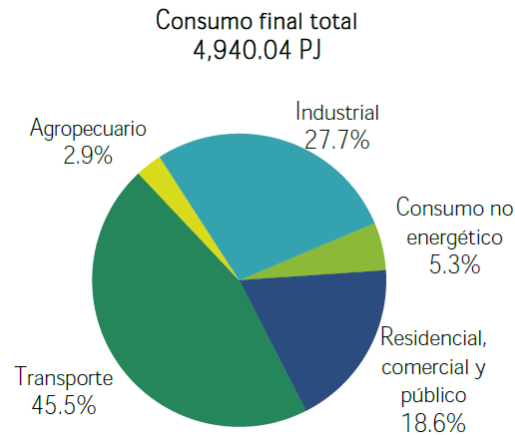


Fuente: Balance Nacional de Energía: SENER, 2011

4.2.2. Parque Vehicular y Consumo Energético a Nivel Nacional

Los datos del 2010, muestran que el sector transporte tuvo la participación más alta en el consumo energético del país (fig. 4), con el 45%, seguido por el sector industrial (27.7%), el residencial, comercial y público de manera conjunta (18.6%), y finalmente el sector agropecuario con apenas 2.9% de tal consumo.

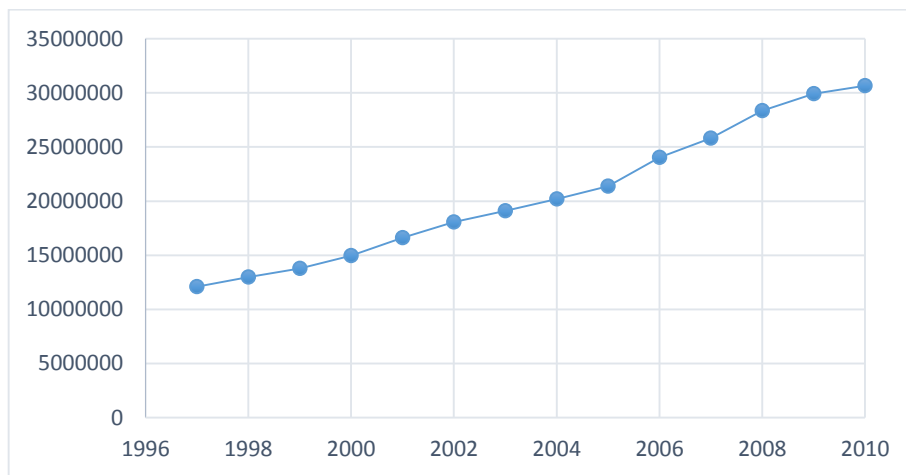
Figura 6. México. Distribución final de energía consumida por sector el año 2010.



Fuente: Balance Nacional de Energía, SENER, 2011

Ligado a tal consumo energético, es notorio el incremento constante que presentó el parque vehicular terrestre (particular) de 1997 al 2010 a nivel nacional (fig. 5).

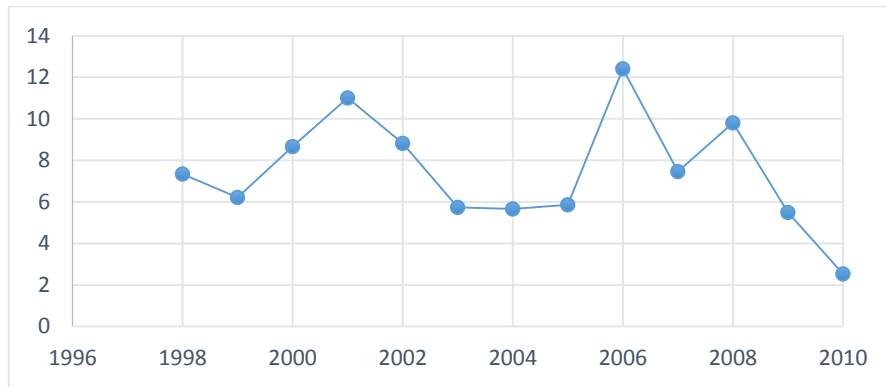
Figura 7. México, 1997-2010. Incremento del número de Vehículos privados.



Fuente: Figura elaborada con base en datos del SIMBAD, INEGI, 2013.

El parque vehicular aumentó en dicho periodo 153.8%, las tasas más altas las presenta los años 2001, 2006 y 2008 (fig. 6), este último año empezó a bajar pero la tasa de crecimiento nunca se tornó negativa (INEGI, SIMBAD, 2012). En promedio, la tasa anual de crecimiento fue de 7.5%.

Figura 8. México, 1997-2010. Tendencia de crecimiento del transporte terrestre privado (%)

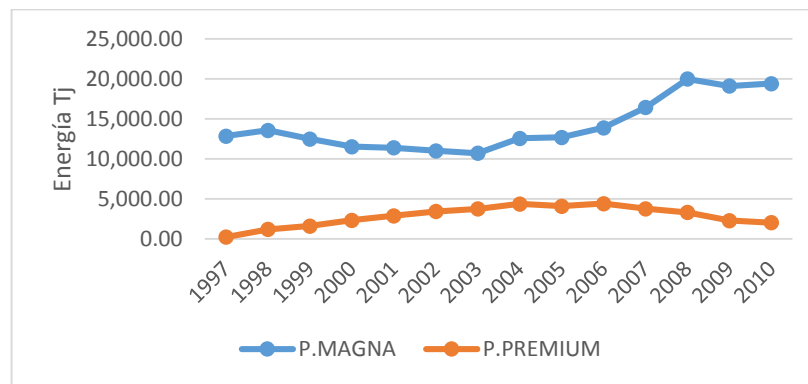


Fuente: Figura elaborada con base en datos del SIMBAD, INEGI, 2013.

4.2.3. Parque Vehicular y Consumo Energético en Hermosillo, Sonora.

El comportamiento del consumo energético registrado por el sector transporte terrestre privado en el municipio de Hermosillo fue creciente en gasolina magna y premium durante el período de 1997 al 2010 (fig. 7).

Figura 7. Hermosillo, Sonora, 1997-2010. Consumo energético del transporte terrestre privado.



Fuente: Elaborado en base a datos del Sistema Nacional de Información Energética, 2013

El consumo de la gasolina magna –cuyo precio es menor al de la premium-, mantiene una tendencia creciente en el período, superior al que presenta la gasolina premium. Llama la atención, como se aprecia en la gráfica, que la baja en el consumo de una se compensa con el alza en el consumo de la otra. Tales variaciones en el consumo de una y otra gasolina se atribuyen al alza que presenta el precio de los carburantes y a los cambios económicos a nivel nacional e internacional que afectaron directamente el nivel de ingreso

de la población. Un ejemplo importante, es la recesión económica de Estados Unidos de América el año 2008 que se expresó con más fuerza en México el año 2009 e impacta el bolsillo de la población que optan por comprar la gasolina más barata.

El consumo de ambos carburantes es creciente en términos globales con ligeros altibajos (tabla 1). En la gasolina magna, decrece de 1998 a 2003, éste último año alcanzó el nivel de consumo más bajo, repuntó a partir de entonces y el año 2005 supera el nivel consumo que había presentado en 1997. En el caso de la gasolina premium, el consumo aumenta año con año de 1997 a 2007 y decrece del 2008 en adelante alcanzando el nivel de consumo más bajo el año 2010.

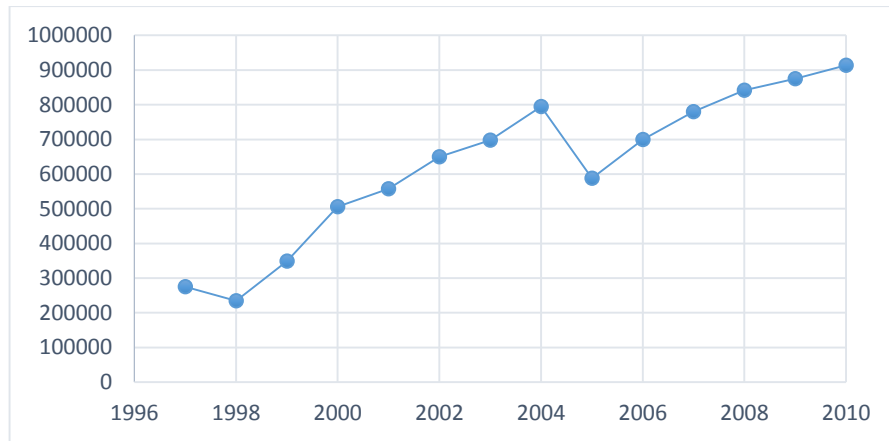
Tabla 1. Hermosillo, Sonora, 1997-2010. Consumo energético (PEMEX Magna y Premium) del sector transporte terrestre privado.

Año	PEMEX MAGNA		PEMEX PREMIUM	
	Bl	Tj	Bl	Tj
1997	2,446,827.09	12,858.08	42,896.51	225.42
1998	2,576,417.12	13,562.26	227,142.67	1,195.68
1999	2,437,675.91	12,495.53	313,943.43	1,609.27
2000	2,250,346.11	11,535.27	453,335.96	2,323.80
2001	2,254,642.84	11,388.20	570,908.56	2,883.66
2002	2,180,310.71	11,012.75	678,221.85	3,425.70
2003	2,204,023.94	10,707.15	770,980.66	3,745.42
2004	2,357,301.96	12,566.78	820,677.98	4,375.03
2005	2,603,278.67	12,683.17	839,970.88	4,092.34
2006	2,849,409.32	13,882.32	903,683.72	4,402.75
2007	3,268,102.63	16,422.22	752,130.04	3,779.45
2008	3,609,002.25	20,001.09	598,885.62	3,319.02
2009	3,688,236.84	19,112.44	441,908.18	2,289.97
2010	3,810,018.84	19,419.67	397,794.86	2,027.56
2011	3,861,440.35	ND	438,246.19	ND
2012	3,755,138.52	ND	661,005.38	ND

Fuente: Elaborado en base a datos del Sistema Nacional de Información Energética, 2013

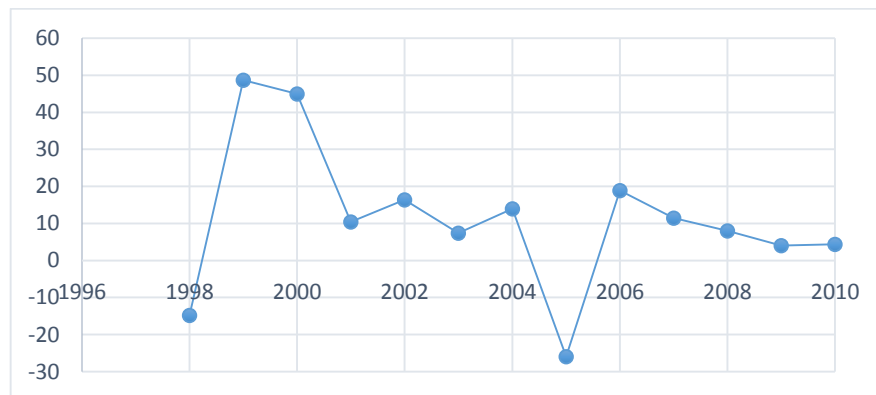
Respecto al parque vehicular, a nivel estatal aumentó de manera constante de 1998 al 2004, disminuyó el 2005 y renueva las tasas positivas del 2006 en adelante (fig. 8). La tasa promedio de crecimiento anual fue del 11.36% y visto año por año (fig. 9), alcanzó la más en 1999, presenta altibajos a partir de entonces y sólo tasa de crecimiento negativa el año 2005 (INEGI, 2012).

Figura 8. Parque vehicular del sector transporte terrestre privado en Sonora, 1997-2010. (Cantidad de vehículos).



Fuente: Figura elaborada con base en datos del SIMBAD, INEGI, 2013.

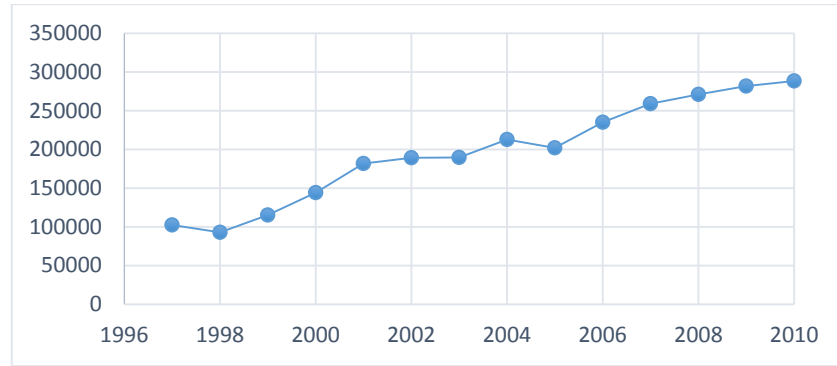
Figura 9. Sector Transporte Terrestre privado en Sonora, México, 1997-2010. Tasa de crecimiento (%).



Fuente: Figura elaborada con base en datos del SIMBAD, INEGI, 2013.

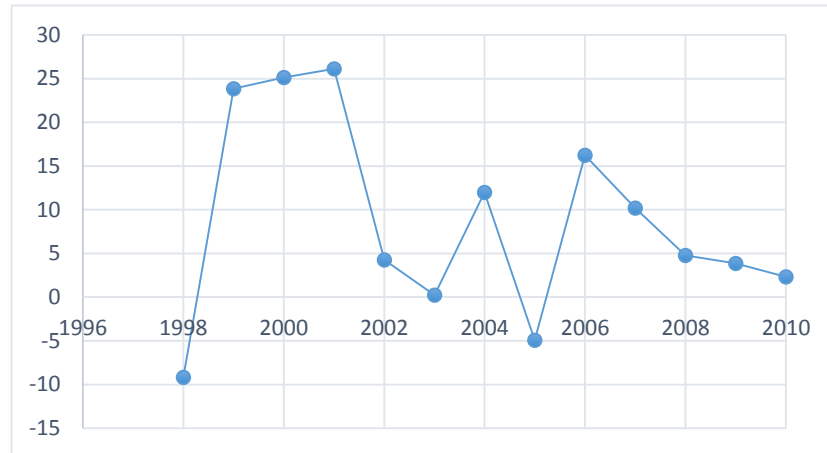
En el caso de Hermosillo, el parque vehicular privado motorizado registró un crecimiento regular durante el período, al pasar de poco más de 100 mil unidades en 1997 a casi 300 mil unidades el año 2010 (fig. 10). El incremento fue de 181% en el período y de 8.8% en promedio anual con altibajos constantes. La caída más fuerte fue de 2001 a 2003 (fig. 11), repunta el 2004 y del 2006 en adelante la tasa de crecimiento disminuye de manera ligera pero constante. (INEGI, 2012).

Figura 10. Hermosillo, Sonora. 1997-2010. Comportamiento del transporte terrestre privado.



Fuente: Figura elaborada con base en datos del SIMBAD, INEGI, 2013.

Figura 9. Hermosillo, Sonora. 1997-2010. Crecimiento transporte terrestre privado (%).



Fuente: Figura elaborada con base en datos del SIMBAD, INEGI, 2013.

4.2.4. Consumo de Energéticos Asociado a Variación de Precios y Salarios

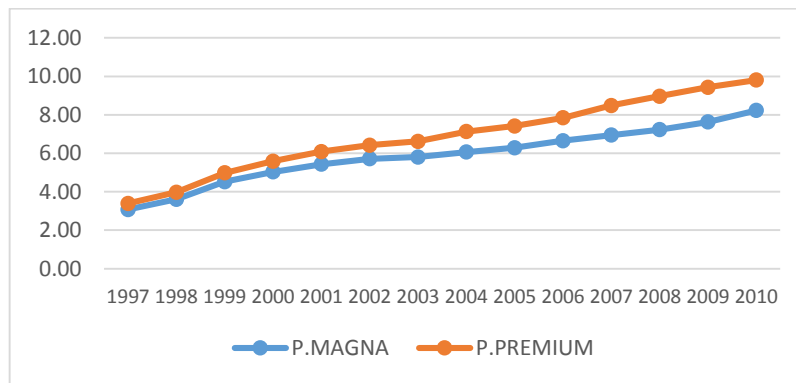
En México, el precio de la gasolina magna pasó de 3.08 pesos el año 1997 a 8.23 pesos el año 2010, esto es un aumento de 267% en el período (un aumento promedio anual de 20.5%). Mientras que la gasolina Premium pasó de 3.40 a 9.81 pesos en el mismo período, lo cual significó un incremento acumulado del 288% o bien, un 22.2% anual (tabla 2). Las variaciones de precio en ambos combustibles se mantienen durante todo el período pero con una tasa ligeramente más alta en el caso de la gasolina premium (fig. 12).

Tabla 2. Hermosillo, Sonora, 1997-2010. Precio unitario de energéticos utilizados por el transporte terrestre privado.

	P.Magna	P.Premium
1997	3.08	3.40
1998	3.61	3.98
1999	4.52	4.98
2000	5.03	5.59
2001	5.43	6.09
2002	5.71	6.42
2003	5.80	6.62
2004	6.06	7.13
2005	6.29	7.42
2006	6.65	7.85
2007	6.94	8.48
2008	7.23	8.97
2009	7.63	9.43
2010	8.23	9.81

Fuente: Elaborada en base a datos del Sistema Nacional de Información Energética (2013)

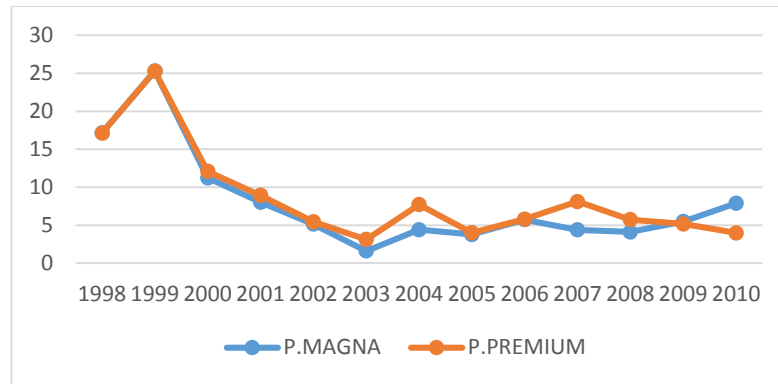
Figura 10. México, 1997-2010. Variación anual del precio de combustibles (premium y magna) utilizado por el transporte terrestre privado (%).



Fuente: Elaborada con base en datos Sistema Nacional de Información Energética (2013)

Durante los primeros tres años del periodo (1997-2002), el aumento de precio de los combustibles fue similar; sin embargo, con excepción del 2010, los años 2003, 2004, 2007 y 2008 el aumento de la gasolina premium fue mayor al de la magna, lo cual llevó a ampliar el diferencial de precios entre ambos combustibles (fig. 13).

Figura 11. México, 1997-2010. Incremento (%) anual del precio de combustibles utilizados por el sector transporte terrestre privado.



Fuente: Elaborada con base en datos Sistema Nacional de Información Energética (2013)

En relación al salario mínimo, útil como un indicador del ingreso per cápita y de la capacidad adquisitiva de la población, constituye un criterio de segmentación que bien puede orientar el análisis del comportamiento del consumidor. En este caso, interesa observar y comparar el comportamiento que presentan las variaciones del salario mínimo con las que variaciones que presenta el precio y consumo de energéticos que utiliza el sector transporte terrestre privado (gasolina Pemex magna y Pemex premium).

Tabla 3. México, 1997-2010. Salario Mínimo para la Zona “B” y Precio de gasolinas PEMEX (magna y premium) Incrementos porcentuales anuales.

Año	P. MAGNA	P. PREMIUM	S.M
1998	17.1484248	17.13780919	30.25
1999	25.3118935	25.28908999	0
2000	11.2389381	12.09871589	10.01
2001	8.03500398	8.949346698	6.46
2002	5.15463918	5.454246755	4.46
2003	1.61064426	3.115750117	3.56
2004	4.41075121	7.720199426	3.64
2005	3.77887789	4.011220196	3.45
2006	5.74018127	5.798274002	4
2007	4.39097744	8.118786643	3.9
2008	4.11985019	5.740893552	3.99
2009	5.49252905	5.161649944	4.2
2010	7.89508197	3.986006573	4.85

Fuente: Elaboración propia con base en datos del Sistema de Administración tributaria SAT y de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público SHCP, 2013

Los datos base (tabla 3) son las variaciones porcentuales de precio por año presentadas por los combustibles (magna y premium) y las variaciones porcentuales por año presentadas por el salario mínimo en la zona geográfica de interés.

Posteriormente, se plasman gráficamente los datos referidos a salario mínimo y gasolina magna (fig. 14 A) así como los de salario mínimo y gasolina premium (fig.14 B). La primera muestra que, con excepción de 1998 y 2003, la tasa de aumento del salario mínimo es menor que la de la gasolina magna; la segunda, muestra algo similar pero con más énfasis, excepto 1998 y 2010, el aumento del precio del combustible superó al del salario mínimo

Figura 12. A. México, 1997-2010. Variación (%) precio público de PEMEX Magna e Incremento (%) del salario mínimo en el norte del país.

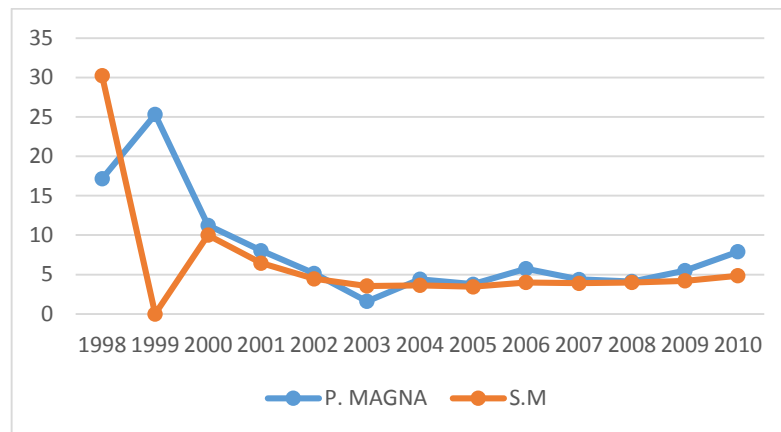
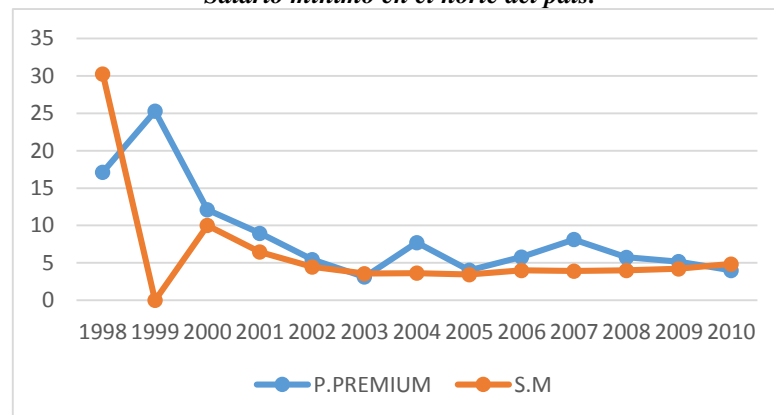


Figura 13 México, 1997-2010. Variación (%) precio público de PEMEX Premium e Incremento (%) del Salario mínimo en el norte del país.



Fuente: Elaboración propia con base en datos del Sistema de Administración tributaria SAT y de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público SHCP, 2013

V. METODOLOGÍA

La premisa de partida refiere al incremento que presentan los medios de transporte individuales (transporte privado), el volumen de transporte y el tráfico a nivel nacional e internacional (Perez, 2012). El diseño metodológico es de tipo no experimental en atención al corte descriptivo-correlacional de la investigación.

5.1. Objetivos

5.1.1. Objetivo General:

Estimar los costos asociados al sector transporte terrestre privado a partir de indicadores económicos (costo de generación energética e indicadores de rendimiento) e indicadores ambientales (inventario de gases de efecto invernadero), con el fin de generar datos que permitan orientar la toma de decisiones desde una perspectiva sustentable y mejor eficiencia del parque vehicular de Hermosillo, Sonora, México. Objetivos Específicos:

- a) Identificar las variables que componen cada indicador (ambiental y económico);
- b) Definir la relación lógico-matemática de los indicadores económicos y ambientales aplicados en el estudio (Ton GEI/Km, Ton GEI/Vehículo, \$/Ton).
- c) Ajustar los indicadores ambientales y económicos de interés para medir el comportamiento energético y las interrelaciones entre generación de energía y costos económicos (CTGE PEMEX Magna y Premium; Rendimiento: Km/Tj, Km/MW*h⁻¹, Km/L y \$/Km)

d) Estimar las EGEI del sector transporte terrestre privado de Hermosillo, Sonora, durante el periodo de interés.

e) Plantear escenarios con datos resultantes para orientar la toma de decisiones encaminadas a mejorar, desde una perspectiva sustentable, la eficiencia del sector transporte terrestre privado.

5.2. Unidad de Análisis y Muestreo

Si bien no existe un tipo de muestreo definido, la unidad de análisis es el vehículo de transporte privado. La información del parque vehicular terrestre del municipio de Hermosillo, se deriva de conocer que el 70% de tal parque se conforma por los vehículos de uso privado. La información de interés, deriva de bases de datos oficiales que refieren al parque vehicular, a consumos energéticos, a recorrido por vehículo promedio, así como a ingresos monetarios per cápita tanto en renta como en salario mínimo.

Las estimaciones correspondientes se realizaron tomando en cuenta tres criterios:

1° La clasificación publicada para el parque vehicular destinado a todo tipo de transporte por el Instituto Nacional de Geografía e Informática. (INEGI, 2010. Inventario Nacional de emisiones GEI).

2° El año de registro oficial de los vehículos.

3° El carburante necesario para el funcionamiento del vehículo.

5.3. Diseño Metodológico para la Estimación de Indicadores

Dado que no existe un método específico para realizar tal análisis y manejo de datos, a excepción de las directrices que propone el IPCC para la estimación de emisiones GEI, el diseño metodológico de la investigación, se orientó por el pensamiento hipotético-deductivo.

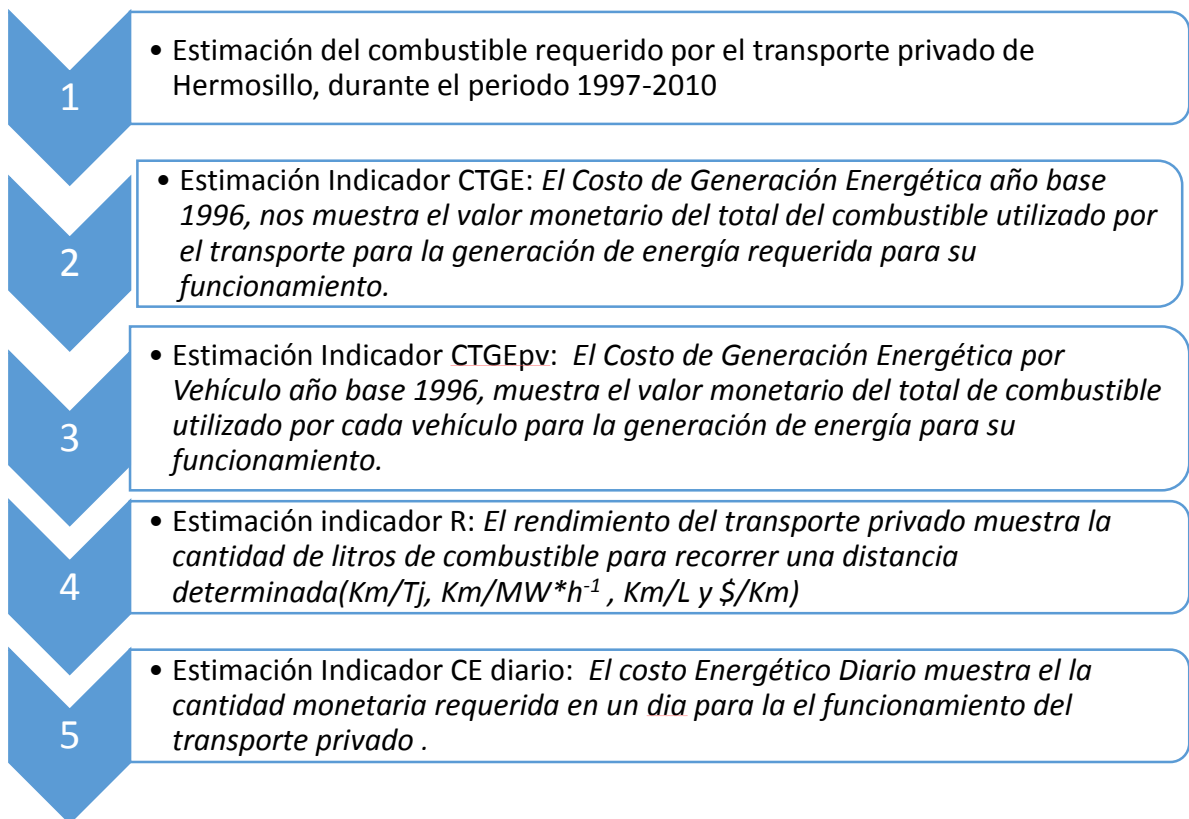
Al observar que se carece de información segregada a nivel municipal, se parte de los datos que sí existen a nivel nacional y estatal para desarrollar el estudio.

El modo experimental es “ex post facto”. Se realiza con base en la información referencial existente en dos años específicos –con valores existentes-, misma que permite la obtención de los indicadores correspondientes para hacer la estimación y análisis del comportamiento del sector transporte terrestre privado en la localidad de interés, en un periodo de tiempo definido.

5.3.1. Indicadores Económicos (IE)

A continuación, la descripción gráfica de los pasos seguidos para estimar los indicadores económicos que permiten cumplir los objetivos de este trabajo. Importa señalar que algunos pasos se han omitido por considerarlos de poca relevancia metodológica en la obtención de los datos de interés.

Ilustración 3. Pasos para la generación y estimación de indicadores económicos.



5.3.2. Lógica de Construcción de IE

Paso #1

En nuestro país, existen dos tipos de carburantes pertenecientes al rubro de las gasolinas y naftas, ambas con diferentes precios, (P. Premium y P. Magna), por lo que en este rubro, al tener cada combustible un precio diferente, se analizan de manera independiente (SENER, 2011).

Se mide entonces el costo total de generación energética (CTGE). El cálculo del CTGE brinda la capacidad de conocer en valores monetarios, el gasto total sufragado por los consumidores, destinado al funcionamiento energético del transporte terrestre privado en la localidad.

Como se ha precisado en el capítulo previo, en México se ha dado mes con mes un incremento gradual en el precio unitario de los energéticos. Esta variación gradual, obliga a tomar el precio promedio del total de los meses a analizar porque se carece de información de consumo/venta mensual. Por tanto, el análisis anual del periodo 1997-2010, considera el precio promedio por unidad de carburante.

El CTGE se obtiene mediante producto de la multiplicación del precio unitario del combustible (CUC) correspondiente a cada periodo por el $Consumo_{V.P a}$

Ecuación 1. Costo Total de Generación Energética

$$CTGE_{ab} = CUC_{ab} * Consumo_{V.P a}$$

Donde:

C= Costo total de Generación energética

CUC= Costo unitario de combustible

Consumo: Total de combustible consumido en un periodo determinado

a= Año

b= Tipo de combustible

Después, al observar las variaciones de valor que también presenta el poder adquisitivo de los consumidores –lo cual imposibilita comparar los valores de los CTGE anuales-, se procedió a deflactar tales valores con base al año 1996.

Por deflactar se entiende el proceso de “...transformar una magnitud económica expresada en términos monetarios a precios corrientes en otra magnitud expresada también en términos monetarios, pero a precios del año cero o año base, al objeto de eliminar del valor de dicha magnitud el efecto de la inflación o subida de precios.”

El valor índice nacional de precio al consumidor, específicamente de productos energéticos, para el año 1996 fue de 0.288, dicho valor se toma como valor deflactor y se realiza la siguiente ecuación

$$\mathit{valor\ inicial} = \frac{\mathit{valor\ final}}{1 + \mathit{INPC}}$$

Donde:

Valor inicial: Valor real a precios corrientes

Valor final: Valor que se desea deflactar

INPC: Índice Nacional de Precios al Consumidor

Paso #2

Una vez que se obtiene el CTGE por tipo de combustible para cada año del periodo de interés, es posible hacer una sumatoria tanto de los costos del consumo de P. Premium y de la P. Magna para obtener así el costo global anual.

Otro indicador necesario para el análisis es el Costo total de Generación energética por vehículo ($CTGE_{PV\ ab}$). Este cálculo ofrece un valor relativo del gasto por vehículo destinado al consumo de energía. Cabe destacar que este es un valor promedio de consumo.

El costo de generación energética por vehículo se estima mediante la relación entre el CTGE y el total de Vehículos privados registrados.

Ecuación 2. Costo total de Generación Energética por vehículo

$$CTGE_{PV\ ab} = \frac{CTGE_{ab}}{Total\ V.P.\ ab}$$

Donde:

$CTGE_{PV}$ = Costo total de generación energética por vehículo

a= Año

Paso #3

Existen diversos indicadores para conocer el comportamiento del parque vehicular. De acuerdo con (Ramirez, 2012), un indicador de gran utilidad para la identificación del comportamiento del sector transporte terrestre, es el KVR (Kilómetros-Vehículo Recorridos).

En el trabajo titulado “La Importancia de la Reducción del Automóvil en México”, se precisa que el valor medio nacional es de 41 km diarios o 15, 000 km anuales por vehículo. Sin embargo en el estudio de emisiones y características vehiculares en ciudades mexicanas realizado en el año 2010 por el Instituto Nacional de ecología (INE) ahora Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), se presentan valores de KVR diferentes para diversas ciudades de la república.

Como así fue el caso en la ciudad de Nogales y por considerar que la ciudad de Hermosillo presenta similitudes con aquella -tanto en lo que compete al parque vehicular como ligeramente en la infraestructura carretera-, se decidió utilizar el KVR estimado de esa ciudad fronteriza: 50km por día (Martinez Salgado, 2011).

Basándonos en el KVR es posible estimar la eficiencia del sector (Rendimiento), relacionando los valores de los kilómetros recorridos con el total de combustibles requeridos y el periodo de tiempo.

Ecuación 3. Kilómetros anuales por vehículo recorridos

$$KVR_{Anual} = (50km * Total de Automóviles) * 365$$

$$R = \frac{KVR_a}{CTC_a}$$

Donde:

R = Rendimiento

KVR_{Anual} = Kilómetros-vehículo Recorridos

CTC = Consumo total de Combustible

a =Año

Otra manera similar de obtener el rendimiento es sustituyendo el valor del consumo total de combustible por el total de energía relativa (TER) ya sea en unidades de Tera joules o Mega watts-Hora. De igual manera se puede hacer

Ecuación 4. Rendimiento energético

$$R = \frac{KVR_a}{TER}$$

Paso #4

De acuerdo con (Ramirez, 2012) se tiene un rendimiento medio nacional de 10.6 km por litro para 2008 con un crecimiento anual del 0.37% es decir que para el año 2009 el rendimiento promedio por automóvil fue de 10.639Km/l y para 2010 fue de 10.678km/l.

De los datos necesarios para el análisis por unidad móvil privada, se estima el costo diario y anual de generación energética por unidad móvil. Esto, en base a la relación entre el rendimiento obtenido y la cantidad de Kilómetros recorridos diariamente por el costo por unidad de energía (Litros de gasolina)

Ecuación 5. Costo energético diario

$$CE_{Día} = \frac{R}{KVR_{Día}} * CEU$$

Donde:

$CE_{Día}$ = Costo Energético Diario

R = Rendimiento

$KVR_{Día}$ = Kilometros-Vehiculos Recorridos Diarios

CEU = Costo Energético por Unidad de combustible

Y, finalmente, para estimar el costo energético anual de un vehículo privado, sólo se procede a un ajuste, multiplicando el $CE_{Día}$ por el total días del año.

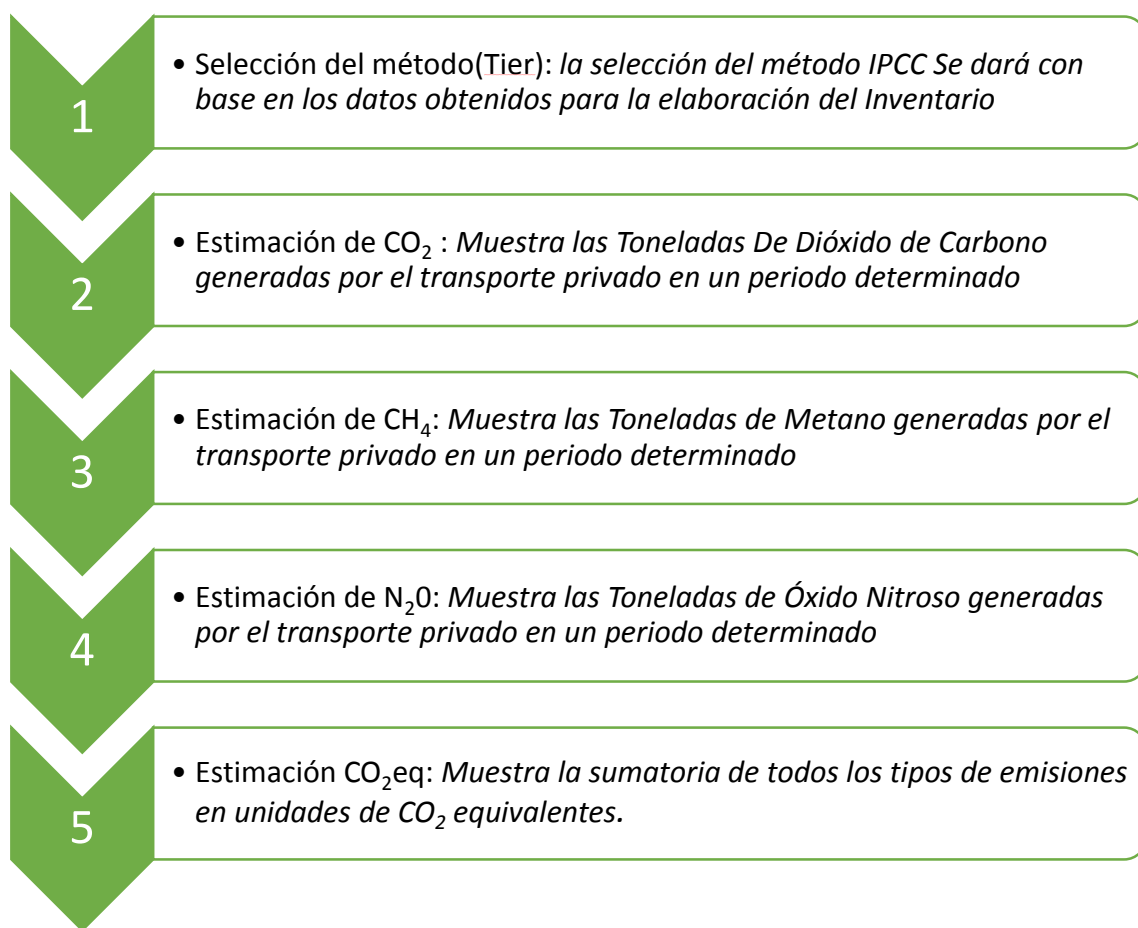
5.3.3. Indicadores Ambientales (IA)

Al Igual que en el apartado anterior, en este apartado se muestra de manera gráfica los pasos seguidos para la obtención de indicadores correspondientes a las emisiones GEI, que para fines de este trabajo serán llamados “Indicadores Ambientales”.

5.3.3.1. Lógica de construcción de IA.

Las fuentes móviles producen emisiones de gases directos de efecto invernadero de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) procedentes de la quema de diversos tipos de combustible, así como contaminantes (gases criterio) como el monóxido de carbono (CO), los compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (COVDM), el dióxido de azufre (SO₂), la materia particulada (PM) y los óxidos de nitrato (NO_x), que causan o contribuyen a la contaminación del aire local o regional (IPCC, Volumen 2: Energía, Capítulo 3: Combustión móvil, 2006).

Ilustración 4. Pasos para la generación y estimación de indicadores ambientales (GEI)



En este estudio se estimaron las emisiones de GEI del sector transporte de acuerdo a la metodología IPCC 2006:

...Todas las emisiones de la quema y la evaporación que emanan del uso de combustibles en vehículos terrestres, incluido el uso de vehículos agrícolas sobre carreteras pavimentadas.

Además, “...incluye todos los tipos de vehículos para servicio ligero, como automóviles y camiones para servicio ligero, y los vehículos para servicio pesado, como los tractores de remolque y los autobuses, y las motocicletas de ciudad (incluidos los ciclomotores, scooters y triciclos). Estos vehículos funcionan con muchos tipos de combustibles gaseosos y líquidos (IPCC, Volumen 2:Energía, Capítulo 3:Combustión móvil, 2006)”.

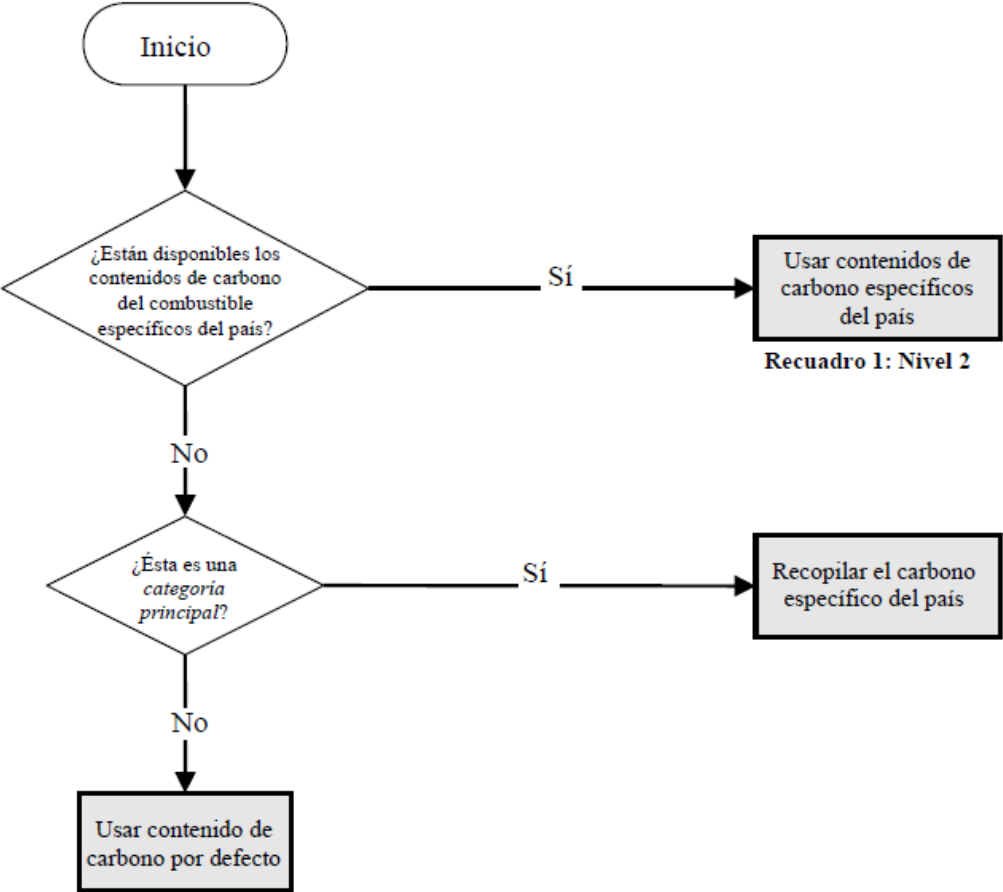
Para el presente trabajo solamente se tomaran en cuenta los vehículos para servicio ligero, en específico automóviles privados.

5.3.4. Elección del Método

Conviene señalar que al carecer en este trabajo de datos de consumo relacionados con la distancia recorrida, resultó más complicado hacer la estimación con un mayor nivel de profundidad. Por ende, el análisis se hizo a un nivel 1 o “Tier 1”, para un mayor nivel de profundidad, se requería información de los modelos del parque vehicular así como de las actividades a las que se destinan los vehículos.

Por tanto, en base a la metodología del IPCC, se utilizó el árbol de decisión para determinar el nivel de profundidad (véase ilustración 5).

Ilustración 5. Árbol de decisiones para la elección del Método (TIER).



Fuente: Imagen tomada de las Directrices del IPCC 2006 para la elaboración de inventarios nacionales

5.3.5. Estimación de Toneladas de CO2 Generadas

Paso #1

Siguiendo el árbol de decisión, es posible determinar la metodología a utilizar. Al carecer de datos de contenido de carbono de combustibles específicos para el municipio de Hermosillo, o en su defecto para el estado o el país, se utilizan los contenidos de carbono por defecto. Por tanto, se utilizó la siguiente fórmula para conocer las emisiones de CO₂:

Ecuación 6. Ecuación del IPCC para la estimación del CO2 del sector transporte terrestre.

$$Emision = \sum_a^b (Cobustible_{ab} * EF_{ab})$$

Donde:

Emisión = Emisiones de CO₂ (kg)

Combustible_a = combustible vendido (TJ)

EF= factor de emisión (kg/TJ). Es igual al contenido de carbono del combustible multiplicado por 44/12³.

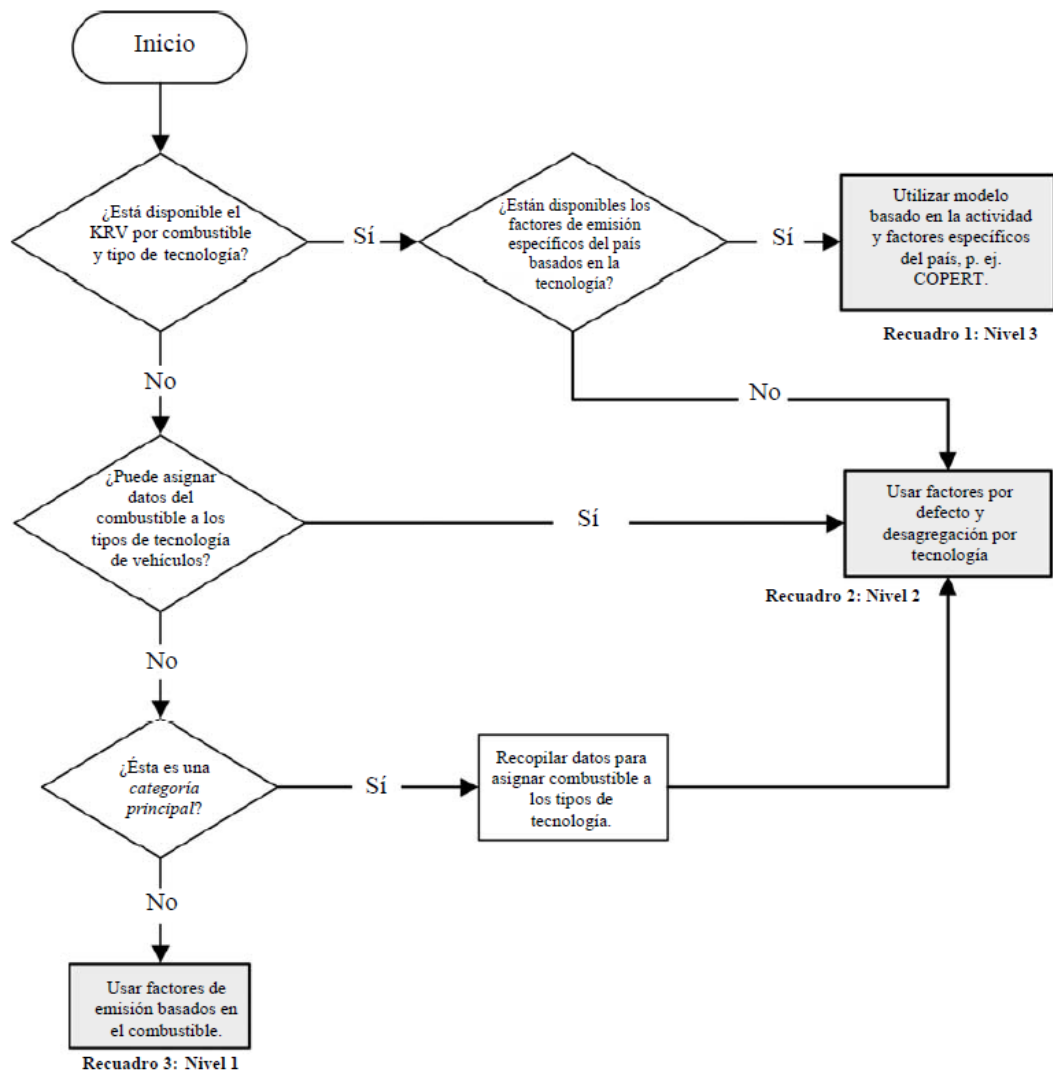
b = tipo de combustible (p. ej., gasolina, diesel, gas natural, GLP, etc.)

a= año

³ El valor 44/12 proviene de la relación existente entre carbono e hidrogeno en la fórmula del dióxido de carbono, donde por unidad CO₂ existen dos molécula de carbono con un peso molecular de 12g/mol cada una mientras que el peso total de la molécula es de 44g/mol

5.3.6. Estimación de Toneladas de Metano, Óxido Nitroso

Ilustración 6. Árbol de decisiones para la estimación de CO2 y otros tipos de GEI



Fuente: imagen tomada de las directrices del IPCC 2006 para la elaboración de inventarios de GEI nacionales.

Paso #2

Se utilizaron los factores de emisión por defecto proporcionados por el IPCC de acuerdo a la metodología correspondiente al TIER 1 y se utilizó la siguiente ecuación

Ecuación 7. Ecuación 3.2.3 del IPCC para la estimación de emisiones de metano y óxido nitroso (Tier 1).

<p>ECUACIÓN 3.2.3 EMISIONES DE NIVEL 1 DE CH₄ Y N₂O</p> $Emisión = \sum_a [Combustible_a \cdot EF_a]$

Donde:

Emisiones = emisión en kg

EF_a = factor de emisión (kg/TJ)

Combustible_a = combustible consumido, (TJ) (representado por el combustible vendido)

a = tipo de combustible a (p. ej., diésel, gasolina, gas natural, GLP)

Factores de emisión para la estimación de GEI

Los factores de emisión por defecto que se utilizaran posteriormente para la estimación de GEI son los siguientes:

Tabla 4. Factores de Emisión IPCC 2006 para la estimación de GEI por tipo de combustible

<i>Combustible</i>	<i>Factor de emisión (kg/TJ)</i>		
	CO₂	CH₄	N₂O
Gasolinas y naftas (PEMEX Premium)	69,300	33	3.2
Gasolinas y naftas (PEMEX Magna)	69, 300	33	3.2

Fuente: Directrices IPCC 2006 para la elaboración de inventarios nacionales

Paso #3

Posteriormente es necesario utilizar los valores de “potencial de calentamiento global” (GWP por sus siglas en inglés) para homogeneizar los datos de emisiones en unidades iguales, en este caso unidades de CO₂ equivalentes (CO₂eq).

Tabla 5. Potenciales de calentamiento (GWP) correspondientes a cada gas de efecto invernadero estimado.

Gas de efecto invernadero	Potencial de calentamiento global
CO ₂	1
CH ₄	21
N ₂ O	310

Fuente: elaboración con base en valores extraídos de las “directrices para la elaboración de inventarios nacionales del IPCC en su versión revisada del año 2010”.

Ecuación 8. Estimación de emisiones en unidades de dióxido de carbono equivalentes (CO₂ eq.)

$$CO_2eq_{ab} = GEI(Ton)_{ab} * GWP_c$$

Donde:

CO₂eq = unidades de Dióxido de Carbono equivalentes

GEI (Ton) = Toneladas de Gas de efecto Invernadero

GWP = Potencial de calentamiento global

a = año

b = tipo de combustible

c = Gas de efecto Invernadero

5.4 Consideraciones Previas a la Estimación de Indicadores Ambientales y Económicos del Sector Transporte Terrestre

Primero, es necesario acotar el nivel de agregación del sector que se va a considerar en el estudio, esto es, si se trata de una estimación a nivel nacional, estatal o municipal. Para tal determinación, se realiza la indagación correspondiente que permita identificar el tipo de información disponible respecto a las emisiones GEI en cada ámbito de referencia geográfica -nacional, estatal o local-, en el sector o sistema económico de interés.

En este caso, después de realizar tal indagación, se procede a llenar los vacíos de información detectados al revisar los bancos de datos disponibles para el sector transporte terrestre del municipio de Hermosillo.

Se espera que, la información/datos obtenidos, permitan un mayor conocimiento de la participación que tienen los demás municipios de la entidad en la generación de las emisiones GEI. Se sugiere realizar en esa vía un análisis de conglomerado, para derivar, de una forma más asertiva, el comportamiento del transporte y sus externalidades en el estado, segregado por distintas regiones. Estudios con tales características, permitirán atender de manera mucho más localizada, el compromiso que tiene el país de cuantificar las emisiones GEI ante la comunidad internacional.

El pensamiento hipotético deductivo afirma que existe un efecto por cada causa, en este caso, la causa es el uso del transporte privado urbano, basado en un determinado esquema energético. Sin embargo, hay otras externalidades que no se asocian o no son medidas pero que también se vinculan con ese impacto económico y ambiental del sector. Finalmente, el estudio realizado en esta ocasión –correlación de indicadores obtenidos-, permite explorar cómo el impacto ambiental incide en el impacto económico en el largo plazo.

VI. DESCRIPCIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

Este capítulo se compone de dos apartados. En el primero, se describen los resultados obtenidos de las estimaciones realizadas por indicador de interés (ambiental y económico) en el caso del sector transporte terrestre de la localidad de Hermosillo, Sonora, durante el período de referencia. En el segundo apartado, los argumentos vinculados al proceso de análisis e interpretación de resultados por indicador de interés y en base a los lineamientos que ofrecen los enfoques de la economía ambiental, la economía ecológica y la economía institucional.

6.1. Descripción de Resultados de Estimación de Indicadores

A continuación, los resultados de las estimaciones realizadas en base a los procedimientos descritos en el capítulo anterior –la información se presenta en el orden de los pasos previamente presentados.

6.1.1. Indicadores Económicos

El Costo Total de Generación Energética (CTGE) durante el período de 1997 al 2010, se estimó tomando como referencia el costo por unidad de energía (combustible) por el número de unidades de energía vendidas al año (Tabla 6).

Tabla 6. Resultados de CTGE 1997-2010.

Costo Total de Generación Energética		
Año	Millones de pesos(\$)	
	PEMEX MAGNA	PEMEX PREMIUM
1997	929.95	17.98
1998	1,147.12	111.53
1999	1,360.07	193.14
2000	1,396.66	312.64
2001	1,511.76	428.96
2002	1,537.28	537.39
2003	1,579.03	629.92
2004	1,763.33	722.29
2005	2,020.92	768.92
2006	2,338.96	875.21
2007	2,800.44	787.57
2008	3,219.97	663.11
2009	3,471.40	514.55
2010	3,869.15	481.65

Fuente: Elaboración con base en cálculos propios.

Se puede apreciar que, durante el período, el gasto monetario en Gasolina Pemex Magna (GPM) aumentó de 1997 al 2010 en 316% y en 11.8% en promedio anual; mientras que en el caso de la Gasolina Pemex Premium (GPP), tal gasto aumentó en 2,578.5% durante el período y en 55% en promedio anual.

Otro dato necesario para el análisis posterior, corresponde al valor monetario relativo al consumo de energía por vehículo registrado en el periodo (tabla 7). El costo energético por vehículo durante el período de interés, 1997 a 2010, se incrementó en 62.9%, quedando una tasa de 15.09% en promedio anual.

Tabla 7. Resultados de CTGE anual por vehículo

Año	\$ M.N
1997	9,267.28
1998	13,547.03
1999	13,498.43
2000	11,872.54
2001	10,687.22
2002	10,956.08
2003	11,637.05
2004	11,691.31
2005	13,803.83
2006	13,681.10
2007	13,857.45
2008	14,315.17
2009	14,149.45
2010	15,091.78

Fuente: Elaboración con base en cálculos propios.

En cuanto al rendimiento (distancia por energía consumida), éste se incrementó en 71.93% durante el período de interés, dato que en promedio anual quedó en 5.16% (tabla 8). Si bien existen diversas maneras de estimar el rendimiento del parque vehicular, en este trabajo se consideraron los kilómetros recorridos por litros de combustible consumidos además, se estimó el costo monetario por distancia recorrida. El rendimiento de combustible aumentó en 66.7% de 1997 al 2010, en promedio anual, la tasa de crecimiento fue de 4.8%.

Tabla 8. Rendimiento del transporte privado en unidades de energía HMO, Son, 1997-2010

Año	Km/Tj	$\frac{Km}{Mw/h}$
1997	142,680.20	513.65
1998	114,894.60	413.62
1999	148,882.25	535.98
2000	189,584.87	682.51
2001	232,210.25	835.96
2002	239,350.97	861.66
2003	239,695.39	862.90
2004	229,020.56	824.47
2005	219,870.16	791.53
2006	234,484.41	844.14
2007	233,908.63	842.07
2008	212,281.20	764.21
2009	240,211.16	864.76
2010	245,312.57	883.13

Fuente: Elaboración con base en cálculos propios.

Por otro lado, el costo monetario por unidad de distancia también se incrementó en un 62% de 1997 al 2010, que en 4.6% la tasa de crecimiento promedio anual referida a este dato (véase tabla 9).

Tabla 9. Rendimiento del transporte privado en unidades de distancia por unidad de consumo y por costo de energía; HMO, Son, 1997-2010

Año	Km/L	\$/km
1997	4.72	0.51
1998	3.80	0.74
1999	4.80	0.74
2000	6.11	0.65
2001	7.38	0.59
2002	7.60	0.60
2003	7.32	0.64
2004	7.68	0.64
2005	6.74	0.76
2006	7.19	0.75
2007	7.39	0.76
2008	7.40	0.78
2009	7.83	0.78
2010	7.86	0.83

Fuente: Elaboración con base en cálculos propios.

Por último, se calculó el costo diario para el funcionamiento por unidad de transporte privado terrestre, medida en costo monetario por cada 50 km -valor promedio estimado para cada unidad-. De año 1997 al 2007 dicho costo aumentó en 62.9% mientras que la tasa promedio anual fue de 4.63 % (véase tabla 10).

Tabla 10. Costo energético diario por unidad de transporte terrestre privado; HMO, Son 1997-2010

Año	Costo energético por vehículo	Costo energético por vehículo diario(\$)
1997	9,267.28	25.39
1998	13,547.03	37.12
1999	13,498.43	36.98
2000	11,872.54	32.53
2001	10,687.22	29.28
2002	10,956.08	30.02
2003	11,637.05	31.88
2004	11,691.31	32.03
2005	13,803.83	37.82
2006	13,681.10	37.48
2007	13,857.45	37.97
2008	14,315.17	39.22
2009	14,149.45	38.77
2010	15,091.78	41.35

Fuente: Elaboración con base en cálculos propios.

6.1.2. Indicadores Ambientales

Respecto a las emisiones de GEI correspondientes a la ciudad de Hermosillo durante el período 1997 al 2010, estimada en base a las directrices del IPCC para la elaboración de inventarios Nacionales (versión 2006), se realizó para un nivel 1 (Tier 1) de estimación de emisiones, de acuerdo a los sectores del IPCC. Veamos.

Los datos de la tabla 11, permiten mostrar que las emisiones de CO₂ eq (unidades de Dióxido de Carbono equivalentes) generadas por el consumo de gasolina premium magna (GPM) por el sector transporte terrestre aumentaron en 51% de 1997 al 2010, dato que en promedio anual refiere una tasa de crecimiento del 3.6%.

Tabla 11. EGEI generadas por el consumo de GPM en Hermosillo, 1997-2010.

Emisiones de GEI provenientes del uso de gasolina PEMEX MAGNA				
Año	Ton CO₂	Ton CH₄	Ton N₂O	Ton CO₂ eq
1997	891,064.69	424.32	41.15	912,730.55
1998	939,864.60	447.55	43.40	962,717.01
1999	865,940.00	412.35	39.99	886,994.96
2000	799,394.50	380.66	36.91	818,831.44
2001	789,202.33	375.81	36.44	808,391.45
2002	763,183.53	363.42	35.24	781,740.02
2003	742,005.38	353.34	34.26	760,046.92
2004	870,877.63	414.70	40.21	892,052.65
2005	878,943.94	418.54	40.59	900,315.08
2006	962,044.93	458.12	44.42	985,436.64
2007	1,138,059.55	541.93	52.55	1,165,730.98
2008	1,386,075.57	660.04	64.00	1,419,777.41
2009	1,324,492.32	630.71	61.16	1,356,696.79
2010	1,345,782.85	640.85	62.14	1,378,504.99

Fuente: Elaboración con base en cálculos propios.

Durante el mismo periodo, las emisiones GEI generadas por el consumo de gasolina Pemex premium (GPP) se incrementaron en un 799%, cifra que en promedio anual refiere una tasa de crecimiento del 39.2% (tabla 12).

Tabla 12. EGEI generadas por el consumo de GPP en Hermosillo, 1997-2010.

Emisiones de GEI Provenientes del uso de gasolina PEMEX PREMIUM				
Año	Ton. CO₂	Ton. CH₄	Ton. N₂O	CO₂eq
1997	15,621.69	7.44	0.72	16,001.52
1998	82,860.56	39.46	3.83	84,875.28
1999	111,522.69	53.11	5.15	114,234.32
2000	161,039.35	76.69	7.44	164,954.95
2001	199,837.58	95.16	9.23	204,696.54
2002	237,400.91	113.05	10.96	243,173.21
2003	259,557.89	123.60	11.99	265,868.93
2004	303,189.88	144.38	14.00	310,561.81
2005	283,599.03	135.05	13.10	290,494.62
2006	305,110.37	145.29	14.09	312,529.00
2007	261,916.12	124.72	12.09	268,284.50
2008	230,008.37	109.53	10.62	235,600.92
2009	158,694.80	75.57	7.33	162,553.39
2010	140,509.93	66.91	6.49	143,926.37

Fuente: Elaboración con base en cálculos propios.

Ahora bien, es conveniente destacar que el valor de consumo de GPP fue atípico los años 1997 y 1998 –muy por debajo de los demás años-, situación que explica el fuerte crecimiento de emisiones GEI en el periodo; pero si la contabilización de tales gases se inicia a partir del año 1999, la tasa de crecimiento de tales gases en el período queda en 25% y la promedio anual en 9.2%.

Por último, se suma el consumo de ambos combustible durante el periodo (GPM y GPP), para derivar las emisiones GEI del sector transporte terrestre, en base a lineamientos referenciales. Resulta finalmente un incremento del 63% de las emisiones GEI durante el período, quedando una tasa de crecimiento promedio anual de 4.16% (tabla 13)

Tabla 13. Emisiones en Toneladas de GEI generadas por el consumo de GPM y GPP en unidades de CO₂ equivalentes. Hermosillo, 1997-2010.

Año	CO₂	CH₄	N₂O	CO₂ eq
1997	906,686.38	9,066.86	12,978.83	928,732.07
1998	1,022,725.16	10,227.25	14,639.88	1,047,592.28
1999	977,462.69	9,774.63	13,991.96	1,001,229.28
2000	960,433.85	9,604.34	13,748.20	983,786.39
2001	989,039.91	9,890.40	14,157.69	1,013,087.99
2002	1,000,584.44	10,005.84	14,322.94	1,024,913.23
2003	1,001,563.26	10,015.63	14,336.95	1,025,915.85
2004	1,174,067.51	11,740.68	16,806.28	1,202,614.46
2005	1,162,542.97	11,625.43	16,641.31	1,190,809.71
2006	1,267,155.30	12,671.55	18,138.79	1,297,965.64
2007	1,399,975.67	13,999.76	20,040.06	1,434,015.49
2008	1,616,083.94	16,160.84	23,133.55	1,655,378.33
2009	1,483,187.12	14,831.87	21,231.19	1,519,250.18
2010	1,486,292.79	14,862.93	21,275.65	1,522,431.37
T O T A L	16,447,800.99	164,478.01	235,443.27	16,847,722.27

Fuente: Elaboración con base en cálculos propios

Posteriormente, se correlacionaron las emisiones GEI por vehículo, las emisiones GEI por unidad monetaria y las emisiones GEI por kilómetro recorrido, obteniendo los siguientes resultados.

Durante el periodo 1997-2010, la cantidad de emisiones en toneladas por kilómetro recorrido disminuyeron en un 41%, en promedio anual, el decremento fue del 3.2% (véase tabla 14).

Tabla 14. Emisiones en Toneladas de GEI generadas por km recorridos equivalentes. Hermosillo, 1997-2010.

Año	Ton/km
1997	0.000497511
1998	0.000617827
1999	0.000476786
2000	0.000374423
2001	0.000305693
2002	0.000296573
2003	0.000296147
2004	0.00030995
2005	0.00032285
2006	0.000302728
2007	0.000303473
2008	0.000334391
2009	0.000295511
2010	0.000289366

Fuente: Elaboración con base en cálculos propios

En el caso de las toneladas generadas por vehículo, el crecimiento total también fue negativo, igual al de toneladas por km recorrido ya que para estimar dichos indicadores se parte de las mismas variables (tabla 15).

Tabla 15. Emisiones en Toneladas de GEI generadas por Kilómetro recorrido equivalentes. Hermosillo, 1997-2010

Año	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Ton/vehículo	9.1	11.3	8.7	6.8	5.6	5.4	5.4	5.7	5.9	5.5	5.5	6.1	5.4	5.3

Fuente: Elaborado con base en cálculos propios

En el caso del costo por tonelada de GEI generados, el comportamiento es inverso a los dos indicadores previos: pasa de 1,020 unidades monetarias por tonelada en 1997 a 2024 unidades por tonelada el 2002, a 2502 unidades el 2007 y a 2857 unidades por tonelada el año 2010. El cambio de inicio al final del período muestra una tasa de crecimiento de 180% durante el período, tasa que en promedio anual queda en 8.5% (tabla 16).

Tabla 15. Unidades monetarias (\$) por Tonelada de GEI generados. Hermosillo, 1997-2010.

Año	\$/ton
1997	1,020.67
1998	1,201.47
1999	1,551.30
2000	1,737.47
2001	1,915.65
2002	2,024.24
2003	2,153.14
2004	2,066.85
2005	2,342.81
2006	2,476.31
2007	2,502.07
2008	2,345.73
2009	2,623.63
2010	2,857.79

Fuente: Elaboración con base en cálculos propios

6.2. Interpretación y Análisis de Resultados

En este apartado, se analizan los resultados previamente descritos. Se enfatiza en las interrelaciones existentes entre los indicadores económicos y ambientales. Se reflexiona sobre tales indicadores en base a ciertos planteamientos de la economía ecológica y la economía institucional. Estas escuelas del pensamiento económico cuestionan la sustentabilidad del desarrollo vinculado a los postulados analíticos de la economía convencional o estándar (neoclásicos); como alternativa, proponen un análisis más integral del sistema económico que tome en cuenta su metabolismo sistémico, funcional y sustentable.

Recordemos que, la economía estándar, al obviar en su análisis el medio ambiente, se constituye en un instrumento incipiente para la organización del mercado, la distribución de la riqueza y el desarrollo de diversas regiones, resultando común obtener saldos rojos crecientes en lo social y ambiental.

La economía ecológica, por su parte, propone integrar al análisis de la producción de bienes y servicios, los insumos requeridos y la generación de desechos vinculados a cada actividad económica (recursos naturales), ambos como parte intrínseca del metabolismo funcional del sistema económico y no como externalidades. De ahí el interés por abordar el consumo energético del sector transporte terrestre privado y sus respectivas EGEI -esto es sus principales insumos y desechos-, como parte de un sistema dinámico y en evolución.

Sin embargo, el funcionamiento del sector transporte terrestre, como parte sustantiva del sistema económico, es afectado por otras externalidades propias del sistema social, político y cultural actual. Y, en congruencia con los postulados que emergen de la economía institucional, habrá que realizar estudios más profundos y complejos de este sector. No es casual que la economía institucional, proponga integrar factores sociales, políticos y culturales al estudio del sistema económico, en ese afán de orientar mejor el rumbo del desarrollo a seguir en el mediano y largo plazo.

6.2.1. Indicadores Económicos

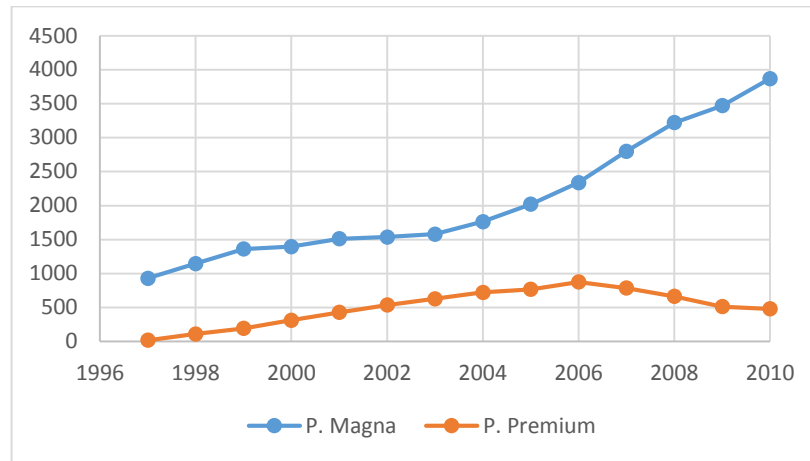
6.2.1.1. Costos Energéticos

Primero, se analiza el valor monetario asociado al funcionamiento energético del sector transporte terrestre privado en la ciudad de Hermosillo, Sonora, de 1997 al año 2010. Se considera entonces el indicador CTGE (Costo total de Generación energética), para lo cual fue necesario estimar de manera independiente el consumo de los dos tipos de carburantes para motores de gasolina comercializados en México durante dicho periodo (GPM y GPP). Veamos.

Durante el periodo 1997-2005 (figura 14), el gasto en ambos tipos de carburantes mantuvo un crecimiento constante casi paralelo, pero del 2006 en adelante la tendencia cambió: el gasto en GPM se disparó mientras el de la GPP presentó una clara baja asociado al bajo consumo del carburante.

Dicho fenómeno puede ser atribuido a la recesión que presentó la economía global el año 2008. Sin embargo, para complementar el análisis de tal fenómeno, es conveniente revisar los ciclos económicos que ha presentado el país en el período de interés.

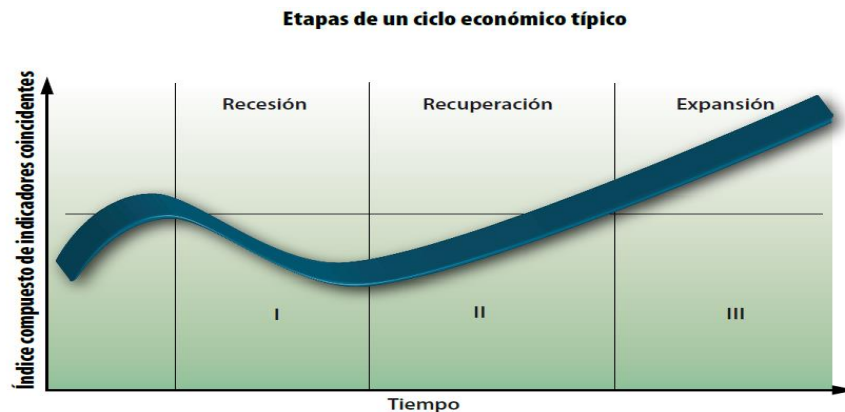
Figura 14. CTGE (Millones de pesos) GPM y GPP, en Hermosillo, 1997-2010.



Fuente: Elaboración con base en cálculos propios

Un ciclo económico típico presenta generalmente tres etapas (Ilustración #7): la recesión o caída de la economía, seguido por la etapa de recuperación o crecimiento económico y, finalmente, la etapa de expansión o en la cual la economía alcanza su punto máximo (Heath, 2011).

Ilustración #7. Etapas de un ciclo económico típico.

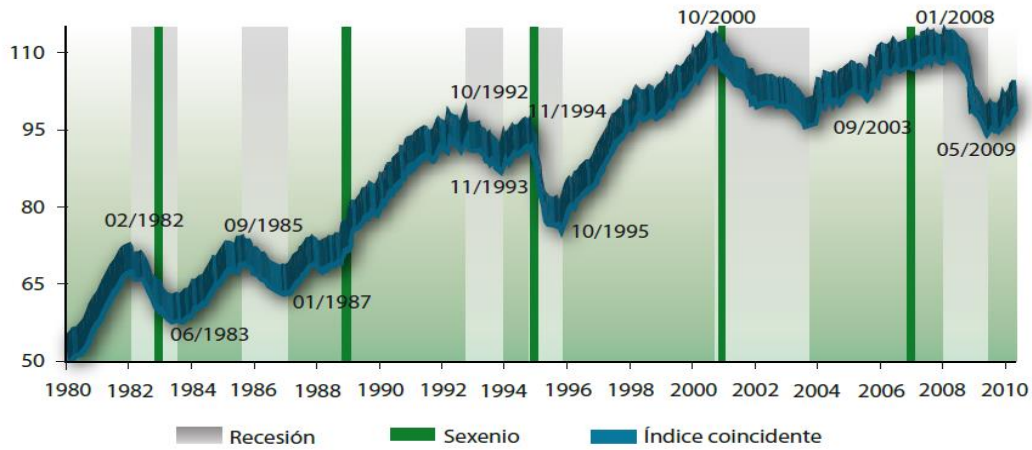


Fuente: Imagen tomada de la revista: REALIDAD DATOS Y ESPACIO, REVISTA INTERNACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA, INEGI 2011

México (Ilustración #8), presenta cuatro ciclos económicos completos de febrero de 1982 a enero del 2008 y éste último año inicia una recesión dando paso a un nuevo ciclo económico (Heath, 2011).

Ilustración #8. Ciclos económicos en México.

Ciclo económico de México visto a través del índice compuesto de indicadores coincidentes



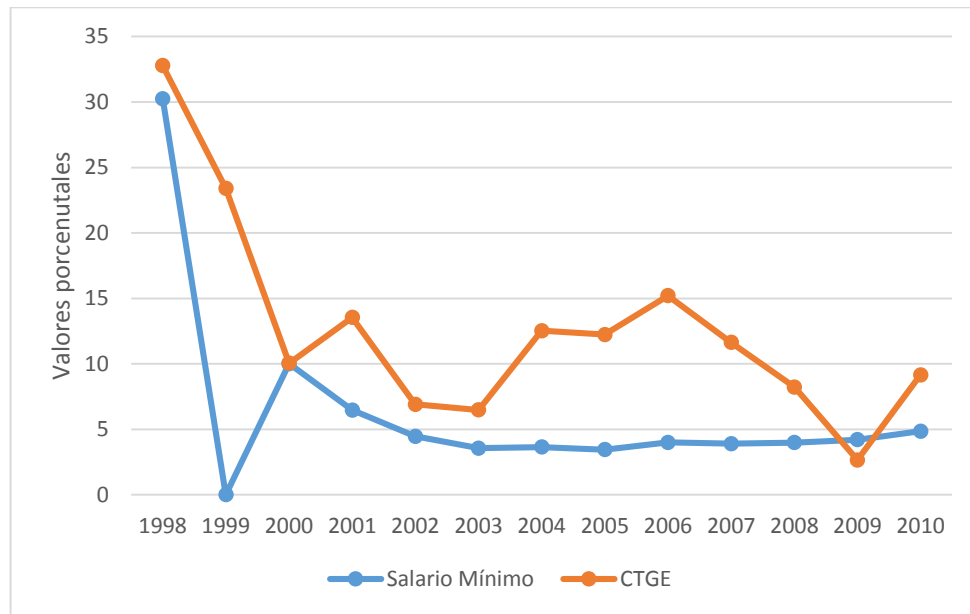
Fuente: Imagen tomada de la revista: REALIDAD DATOS Y ESPACIO, REVISTA INTERNACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA, INEGI 2011

Al observar los ciclos económicos (ilustración 8) y el comportamiento del CTGE (figura 14), se aprecia que en el 2008 inicia la caída más fuerte en el consumo de GPP –que mantiene un precio más alto que la GPM-, fenómeno que concuerda con el inicio del quinto ciclo económico en México previamente citado. Aun cuando la economía nacional presentó varias recesiones económicas durante el período de estudio e inició otra el 2008, el parque vehicular mantuvo un crecimiento constante en términos absolutos pero se empezó a consumir un energético de menor costo: la baja en el consumo del carburante de mayor costo (GPP) se compensa con el alza en el consumo del otro de menor costo (GPM).

Sin lugar a dudas, tal situación se relaciona con el ingreso per cápita de las familias. Las recesiones económicas afectan el poder adquisitivo de las familias que ven mermados sus ingresos al disminuir el valor del salario mínimo. Éste último presenta un significativo decremento de 1998 a 1999, se recupera el año 2000 y vuelve a bajar del 2001 al 2003, pero a partir de entonces y hasta el 2010 presenta variaciones constantes con una tendencia ligeramente creciente (figura 15). En contraparte, la tasa de crecimiento del CTGE mantiene un crecimiento que supera el comportamiento y tendencia de crecimiento alcanzada de los salarios mínimos. La caída de tal tasa en este indicador fue más pronunciada de 1998 al 2000, del 2001 al 2003 y del 2006 al 2009, sólo el año 2000 dicha

tasa fue igual a la de salarios mínimos y el año 2009 inferior. Los CTGE se elevaron en aproximadamente 25% después de 1998 y se mantuvieron relativamente constantes rondando en valores de entre 5% y 15% del 2000 en adelante; sin embargo el 2009 el incremento fue menor al 5% -menor dinamismo energético del sector- acorde con el periodo de recesión de aquellos años, el año 2010 vuelve a crecer con tasas cercanas al 10%.

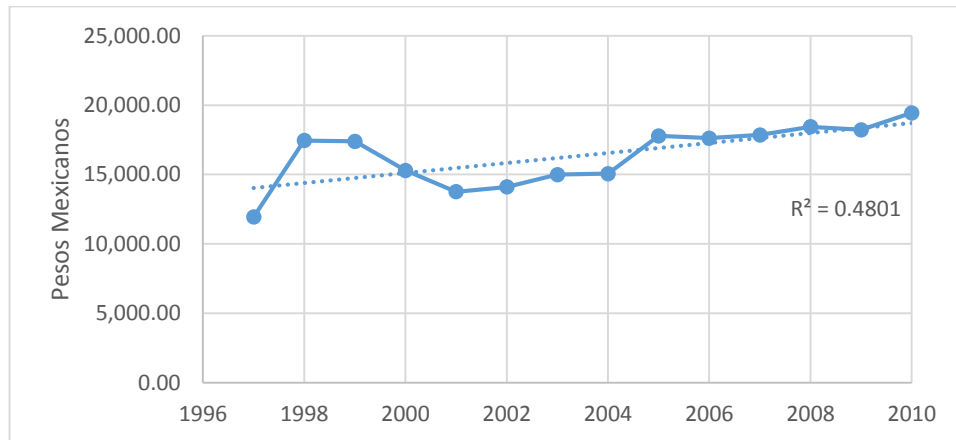
Figura 15. Valores del incremento porcentual del Salario mínimo contra el CTGE en Hermosillo, Sonora, 1997-2010.



Fuente: elaboración con base en cálculos propios.

Lo que es de interés señalar es que, a pesar de los ciclos económicos, el consumo de combustibles por parte del sector transporte mantuvo la tendencia a la alza en todo el periodo, como se aprecia en la gráfica que refleja el CTGE por vehículo de 1996 al 2010 (figura 16).

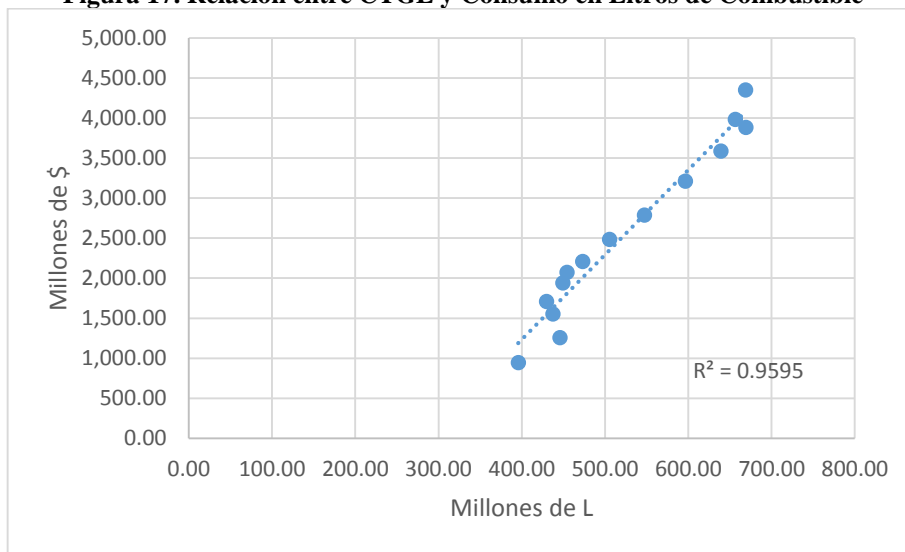
Figura 16. CTGE anual por vehículo l correspondiente al periodo 1997-2010 en Hermosillo, Sonora.



Fuente: Elaboración con base en cálculos propios.

Ahora bien, el CTGE es diferente al consumo en unidades de volumen pero sí guarda una relación entre el consumo en unidades de volumen y el costo de dicho consumo (CTGE) pero existe una tercera variable que afecta el valor del CTGE: el costo por unidad de carburante. Por ello, la relación entre ambas variables no es de uno a uno -como se muestra en la figura 17-, el índice de correlación R tiene valores menores a 1.

Figura 17. Relación entre CTGE y Consumo en Litros de Combustible



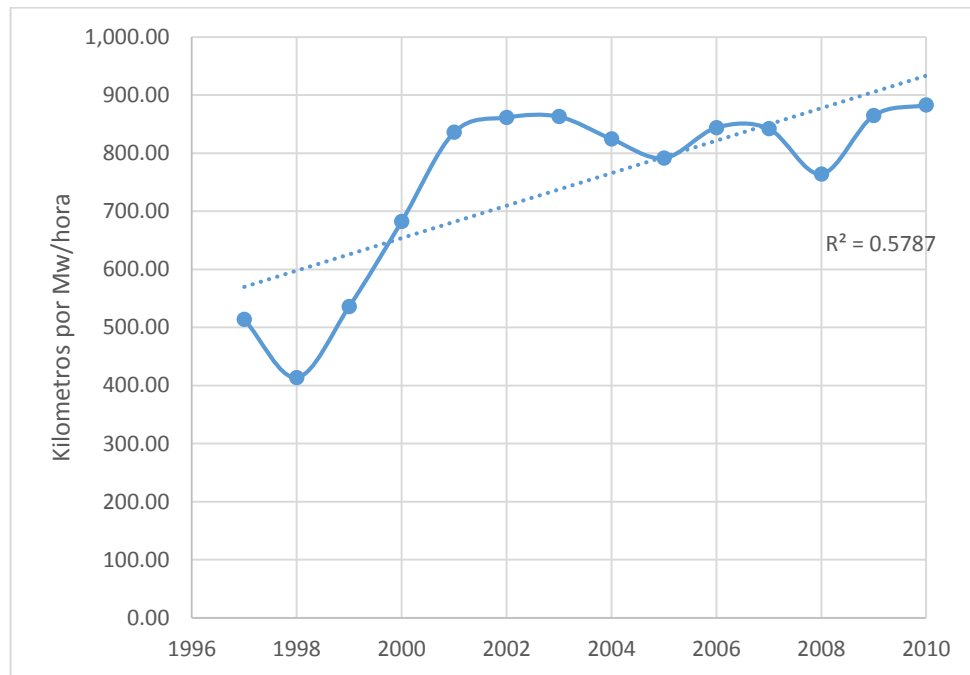
Fuente: Elaboración con base en cálculos propios.

6.2.1.2. Rendimiento del sector.

El rendimiento en el transporte privado puede medirse de diversas maneras: rendimiento físico del transporte (kilómetros por litro, unidades de energía por distancia recorrida) y rendimiento económico (unidades monetarias por unidades de distancia, por unidades energía requerida etc.).

El rendimiento físico del transporte privado se observa claramente que ha mejorado: cada vez se requiere menos energía para recorrer una distancia mayor. La mejoría en el rendimiento, se atribuye a las mejoras en la tecnología de combustión del transporte privado (véase figura 18).

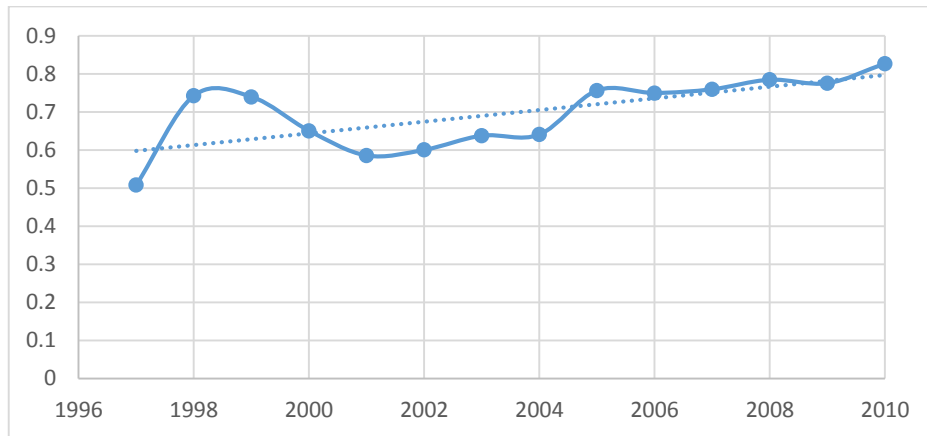
Figura 18. Rendimiento del transporte privado en Hermosillo Sonora 1997-2010.



Fuente: Elaboración con base en cálculos propios

Al analizar el rendimiento en kilómetros recorridos por unidades de combustible, se aprecia el mismo fenómeno, un rendimiento creciente. Sin embargo, al graficar el rendimiento en valores monetarios (pesos por kilómetro), se aprecia disminución, esto significa que cuesta cada vez más recorrer una misma distancia (figura 19).

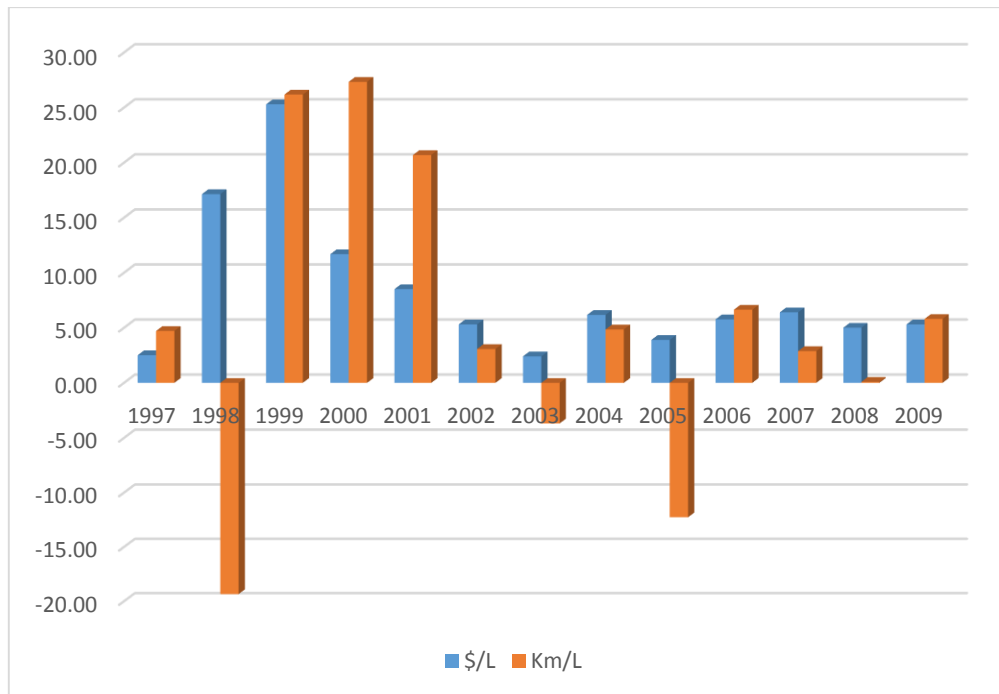
Figura 19. Rendimiento del transporte privado en unidades monetarias (\$/Km).



Fuente: elaboración con base en cálculos propios

Hablar de incremento del rendimiento del parque vehicular no necesariamente implica que los costos han disminuido toda vez que el rendimiento y el aumento en los combustibles no necesariamente son simétricos (Fig.20).

Figura 20. Incremento porcentual del Rendimiento (Km/L) contra incremento porcentual de costos de combustibles (\$/L) HMO, Son 1997-2010.

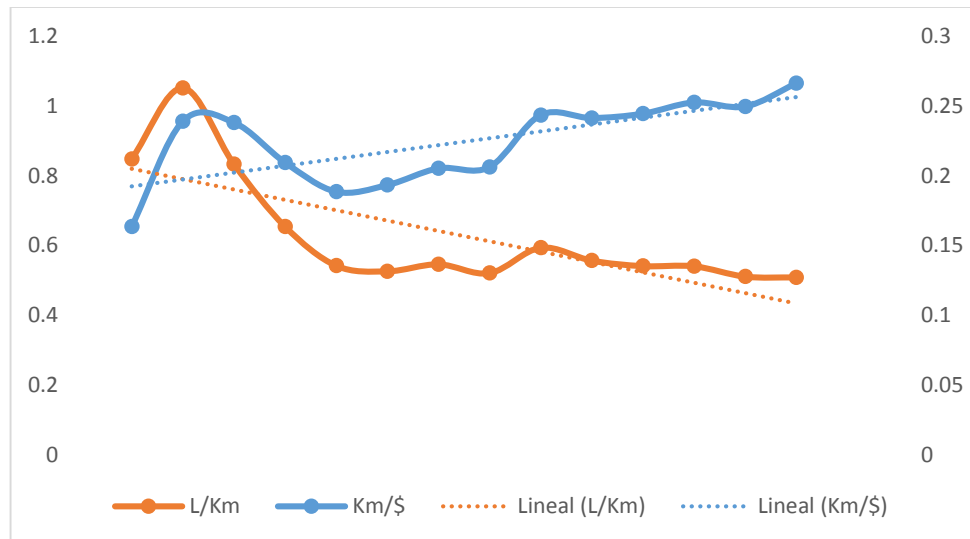


Fuente: Elaboración con base en cálculos propios

Como se expresó previamente, al comparar el crecimiento de costos de los energéticos con el crecimiento del rendimiento, se observa que el incremento del costo de los energéticos es mucho mayor, cada vez se torna más alto el costo por unidad de distancia (Km/L) (véase figura 20).

En la figura 21 se aprecia que la relación guardada entre la cantidad de litros por kilómetro recorrido y el costo por kilómetro recorrido en el periodo 1997-2010, ha sido inversamente proporcional; es decir que aunque cada año se requieren menos litros de carburante para recorrer una distancia determinada, cada año resulta más caro recorrer la misma distancia.

Figura 21. Kilómetros recorridos por peso contra litros por kilómetro recorrido, HMO, Son, 1997-2010.

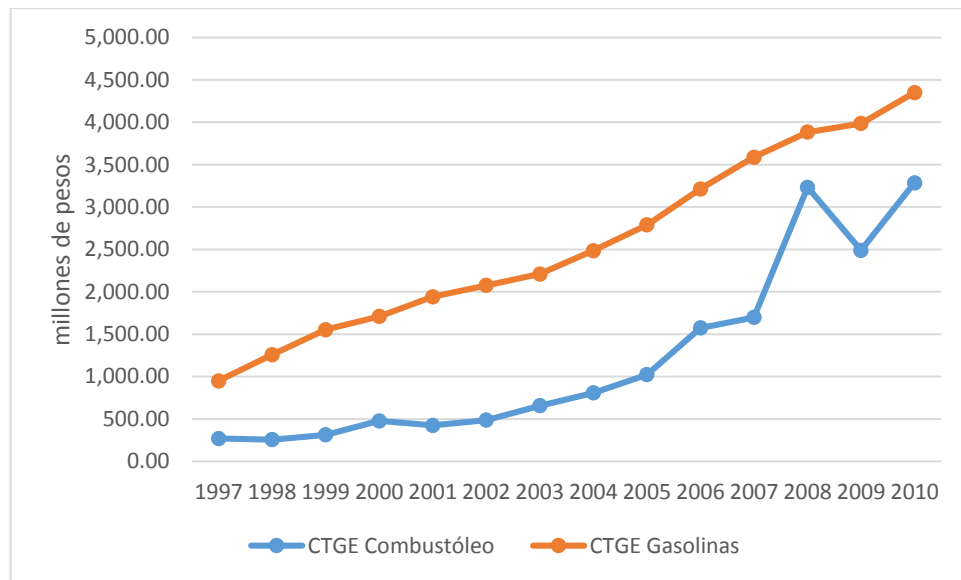


Fuente: elaboración con base en cálculos propios

Ciertamente, si se habla de unidades de energía, resulta más viable generar la energía que requiere el transporte privado mediante la utilización de fuentes fijas, es decir pasar del esquema energético estándar, en el cual la energía para el transporte es generada por unidad móvil (fuentes móviles), a un esquema energético en el que la energía se genere mediante procesos de combustión y por ende de generación fijos como lo son las centrales termoeléctricas que funcionan con combustóleo, que a su vez mantiene un costo monetario muy por debajo del de los carburantes estándar utilizados para el transporte. Cabe aclarar que al hablar del cambio del esquema energético, sólo se considera el costo de venta al consumidor de tales insumos (carburantes) y no los costos naturales de la energía referidos

a procesos de producción, capital humano, capital social, infraestructura etc. De integrar tales costos en las estimaciones, serían más evidentes los costos crecientes de los carburantes tradicionales sobre sus rendimientos y, por ende, la conveniencia de transitar a otro modelo de producción energética.

Figura 22. CTGE de Combustóleo contra CTGE de gasolinas en HMO, Son; 1997-2010.



Fuente: elaboración con base en cálculos propios

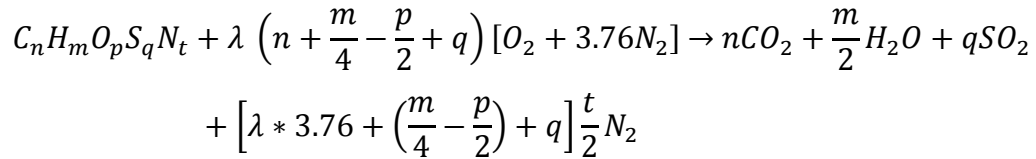
En síntesis, el costo al consumidor de ambos carburantes presenta un comportamiento a la alza (figura 22). Si sólo se toma en cuenta el costo del Insumo energético y el combustóleo requerido para la generación de energía por parte del sector transporte privado, resulta más económico que las gasolinas convencionales. Sin embargo, falta estimar el costo de la infraestructura, los costos operativos y considerar que las características de carga energética de la planta vehicular actual, generalmente no es compatible con fuentes energéticas alternativas.

6.2.2. Análisis de Indicadores Ambientales

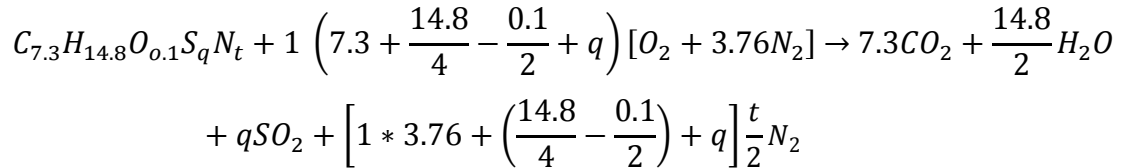
A continuación, el análisis de los datos correspondientes a las EGEI generadas por el transporte privado en Hermosillo, Sonora del año 1997 al 2010.

El primer dato corresponde a las emisiones de Dióxido de Carbono. Este gas de efecto invernadero es el principal GEI generado durante la combustión a base de carburantes fósiles. En una reacción de combustión ideal, es decir donde el 100% del combustible reacciona en la combustión es decir con un $\lambda=1$ la ecuación química de la reacción es:

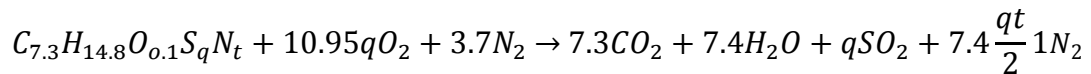
Ecuación 9. Ecuación General de la combustión Interna



Si tenemos que la formula química básica de las gasolinas es $C_{7.3}H_{14.8}O_{0.1}$ entonces la ecuación de reacción será la siguiente:



Finalmente la ecuación final de la reacción de combustión de las gasolinas convencionales para el transporte privado es:

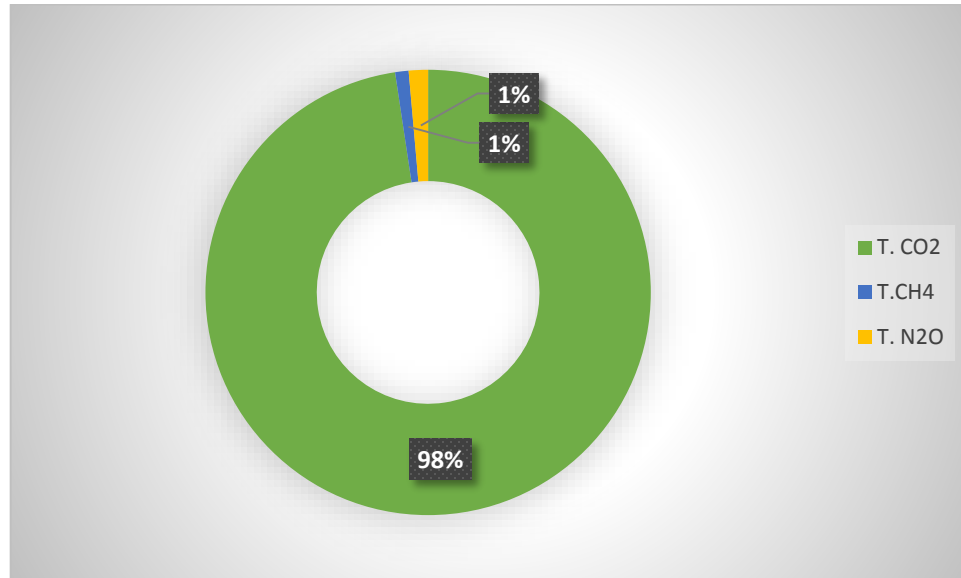


Cabe destacar que en la ecuación los valores de q y t no se conocen ya que son las proporciones de azufre y nitrógeno en el combustible cuyas respectivas concentraciones por año se desconocen y no son publicadas a nivel nacional.

De acuerdo con el IPCC, la proporción de las concentraciones de gases es de 98 por ciento dióxidos de carbono, 1 por ciento metanos y 1 por ciento óxido nitroso y gases criterio.

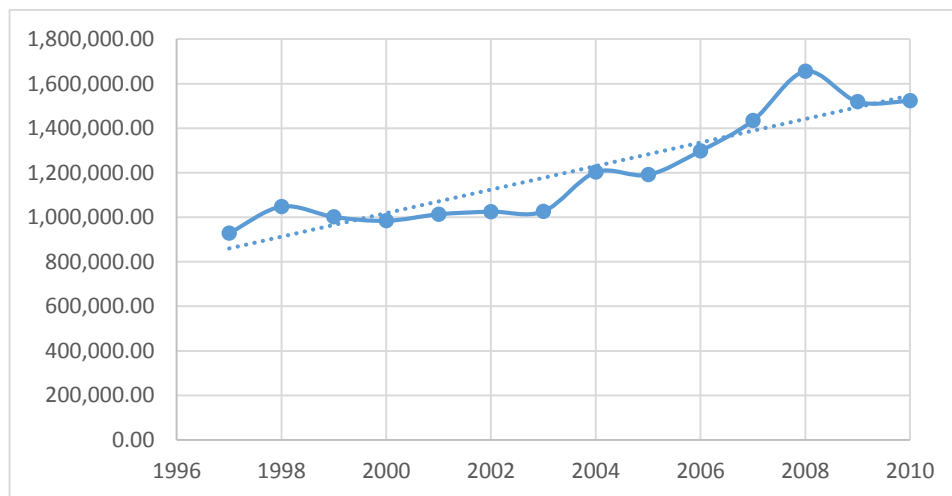
Para el caso del presente estudio se observa que se guarda dicha relación en la ciudad de Hermosillo, Sonora durante el periodo 1997-2010 (véase figura 23).

Figura 23. Porcentaje de Toneladas de emisiones de Gases de Efecto Invernadero en Hermosillo, Sonora durante el periodo 1997-2010.



Fuente: elaboración con base en cálculos propios

Figura 24. Toneladas de CO2 equivalentes en Sonora durante el periodo 1997-2010.



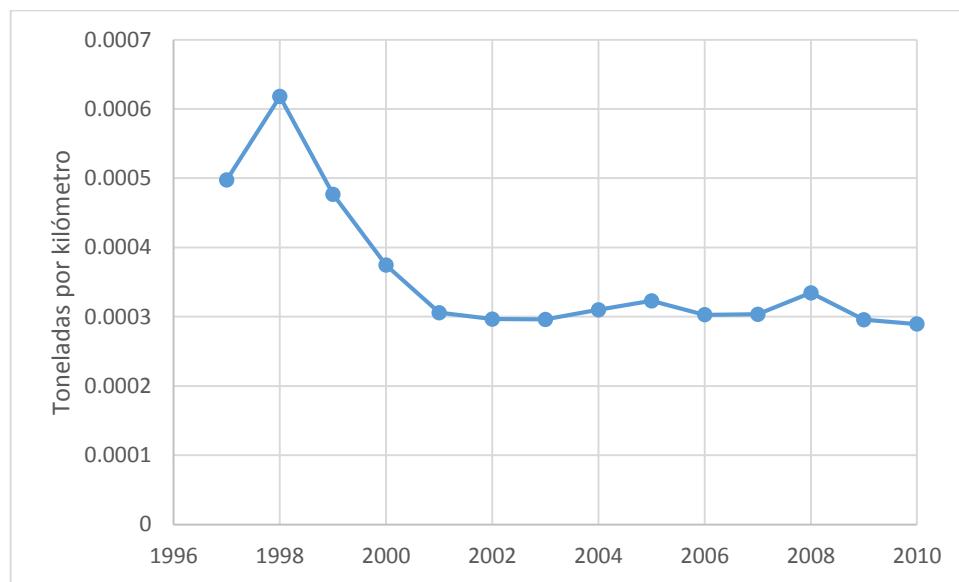
Fuente: elaboración con base en cálculos propios

Debido a que las emisiones de GEI y los consumos de combustibles son directamente proporcionales, se deriva que los ciclos económicos al afectar el dinamismo del sector transporte terrestre, impactan también el nivel de las emisiones de GEI (figura 24). Puede

apreciarse que, aunque la tendencia es hacia la alza, alcanza su punto más alto en el año 2008 y que a partir de dicho año tiende a bajar, acorde a lo citado en el apartado anterior sobre los ciclos económicos, la recesión afecta directamente el dinamismo del transporte terrestre privado y por ende las emisiones de GEI.

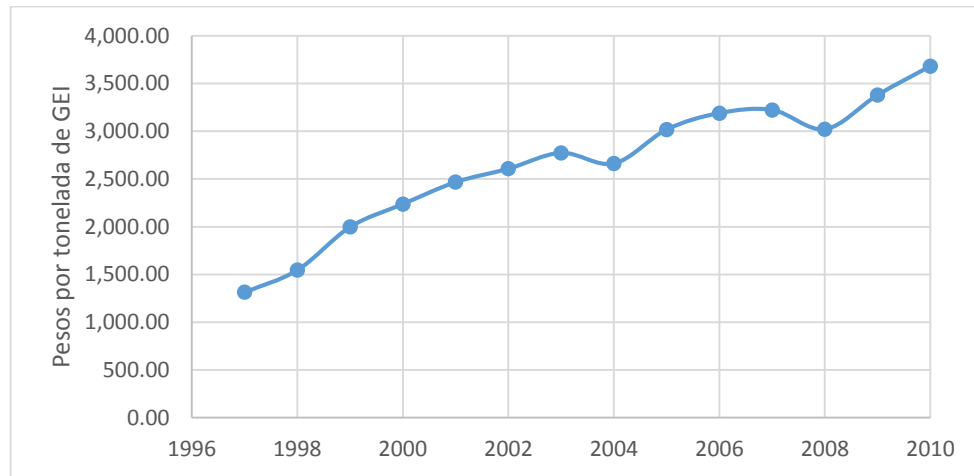
Por otro lado, como se ha comentado previamente, aunque el rendimiento medido en distancia recorrida por unidad de carburante (Km/l) se ha incrementado -cada vez se requiere menos combustible para trasladarse cierta distancia-, el costo de los combustibles ha aumentado más que el rendimiento (figura 25). Al ser más costoso el combustible (y por ende el generar una tonelada de CO₂equivalente), resulta también más caro recorrer una misma distancia (figura 26).

Figura 25. Rendimiento medido en toneladas por kilómetro en Hermosillo, Sonora 1997-2010



Fuente: elaboración con base en cálculos propios

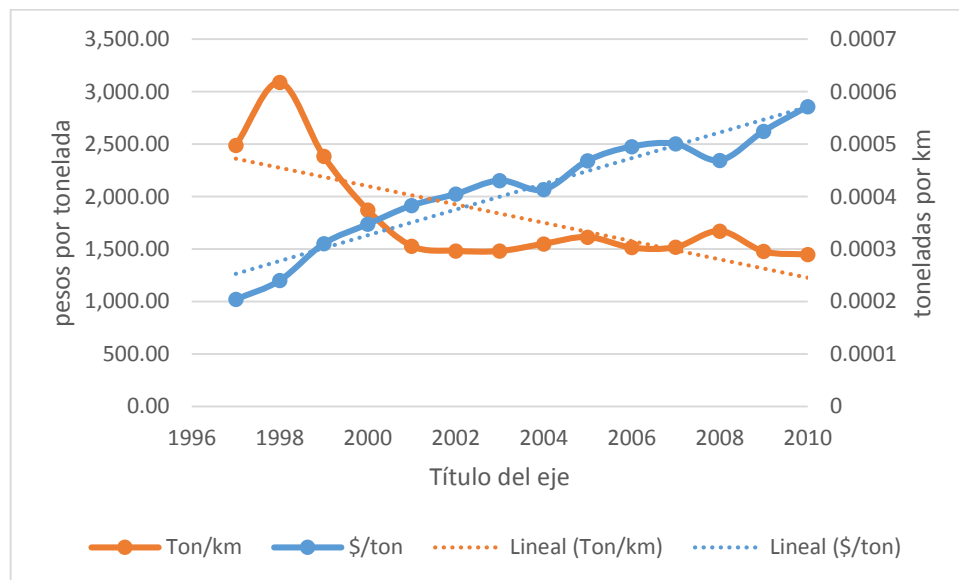
Figura 26. Rendimiento medido en pesos por tonelada de GEI en Hermosillo, Sonora 1997-2010.



Fuente: elaboración con base en cálculos propios

Si bien no existe una relación de dependencia entre las toneladas generadas por kilómetro y el costo por tonelada, durante este periodo mantuvieron una tendencia inversamente proporcional, esto es, conforme disminuyeron las toneladas por kilómetro recorrido, el costo por tonelada generada se elevó (figura 27).

Figura 27. Comparación entre rendimiento (Toneladas por kilómetro) contra pesos por tonelada generada HMO, Son. 1997-2010.



Fuente: elaboración con base en cálculos propios

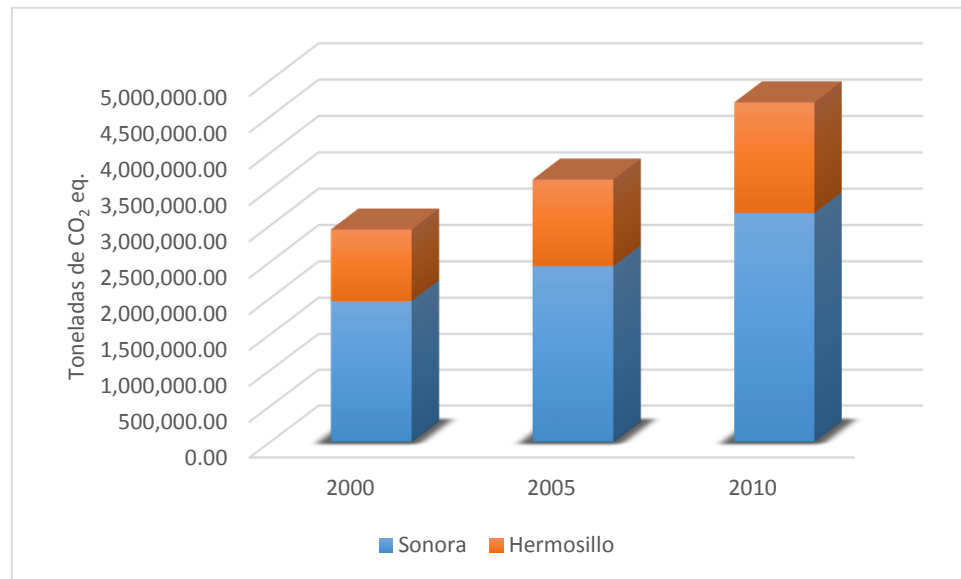
Comparando los valores de EGEI del transporte privado en la localidad de interés, contra el total de emisiones del transporte a base de gasolina en todo el estado, se aprecia que alrededor del 50% de tales emisiones durante los años 2000, 2005 y 2010 correspondieron a Hermosillo (tabla 17; figura 28)

Tabla 16. Cuadro comparativo de emisiones de GEI generadas por el consumo de gasolinas en Hermosillo y el estado de Sonora.

Año	Ton CO2 eq.		%
	Sonora	Hermosillo	
2000	1,960,000.00	983,786.39	50.19
2005	2,440,000.00	1,190,809.71	48.80
2010	3,170,000.00	1,522,431.37	48.03

Fuente: elaboración con base en cálculos propios y cálculos generados por el Inventario de Emisiones de GEI del estado de sonora, 2008.

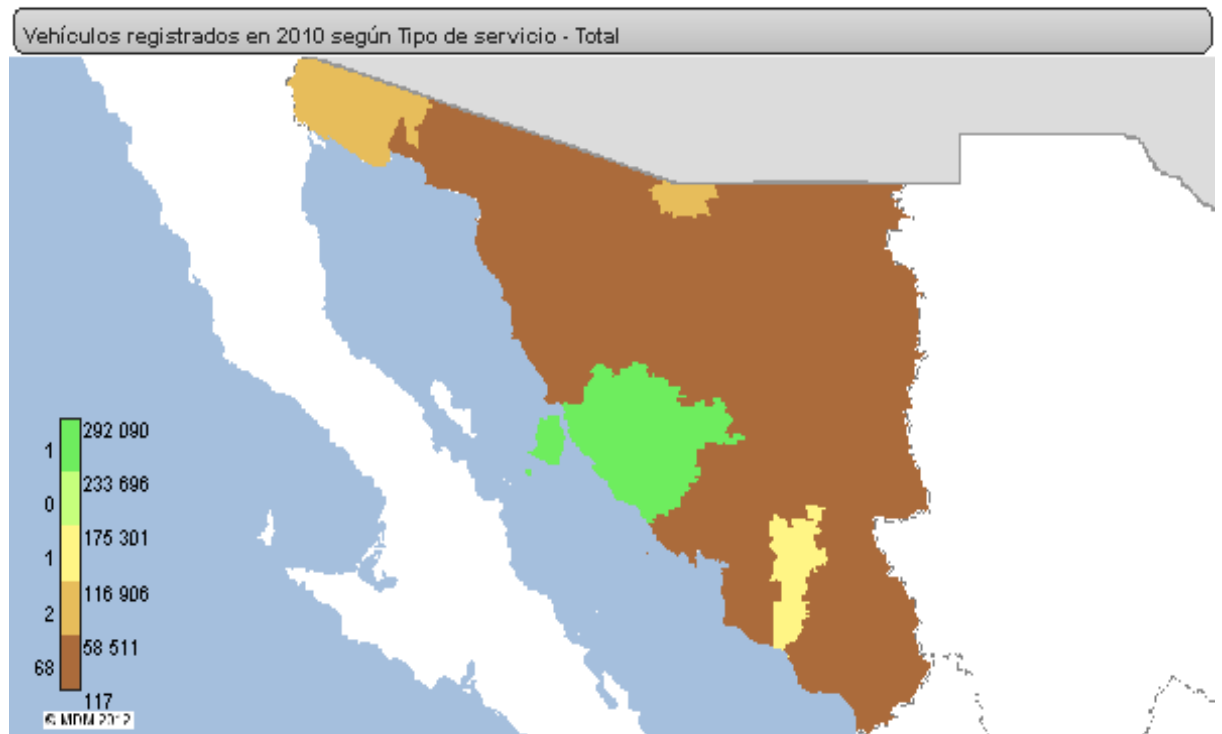
Figura 28. Emisiones de GEI procedentes del transporte terrestre privado en el estado de Sonora y en el municipio de Hermosillo



Fuente: elaboración con base en cálculos propios

Tan importante participación del municipio de Hermosillo en la generación de emisiones de GEI a nivel estatal, se explica porque dicha localidad además de ser la que concentra más población, es la que ha registrado un mayor número de unidades de transporte privado durante el periodo analizado (Ilustración 9).

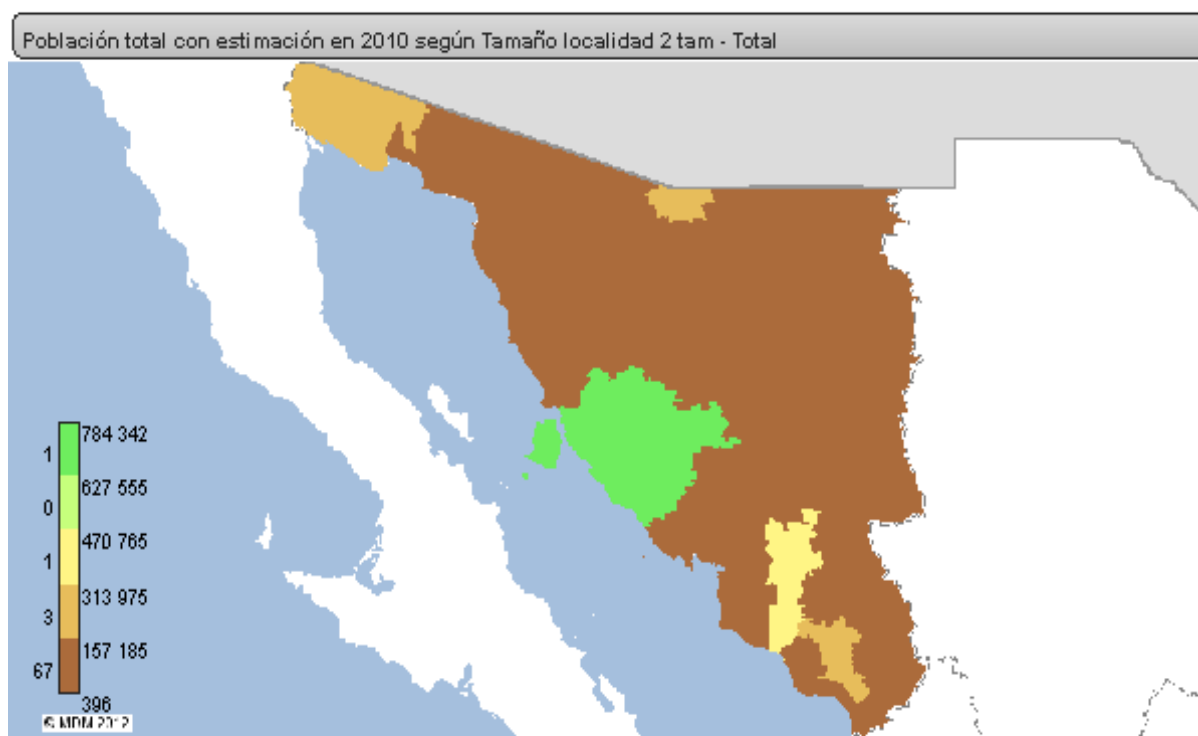
Ilustración 9. Vehículos registrados en el estado de Sonora.



Fuente: Sistema estatal y municipal de Bases de Datos, INEGI 2013

El número de vehículos terrestres registrados en Hermosillo durante el período de interés, de alguna manera es congruente con el número de habitantes que concentra esta localidad (imagen 6.2.2; Ilustración 10), concretamente 784,342 personas que representaban el 29.4% de la población estatal (2,662,480). (INEGI, 2010). Habría que analizar si el comportamiento del crecimiento del parque vehicular terrestre se liga con el crecimiento que presentó en ese período el grupo de adultos y de adultos mayores considerando el nivel de ingresos por grupos de edad, la concentración del ingreso, entre otros.

Ilustración 10. Población del estado de Sonora, contabilizada el año 2010.



Fuente: Sistema estatal y municipal de Bases de Datos, INEGI 2013

El hecho es que la cantidad de unidades vehiculares registradas por el sector transporte terrestre privado a nivel estatal y en Hermosillo del año 1997 al 2010 aumentaron en términos absolutos año con año y que la capital concentraba la tercera parte de las unidades de la entidad (vea tabla 18). También, se observa que el comportamiento del crecimiento del parque vehicular era similar a nivel estatal y municipal (figura 29); además, como en este sector predomina un solo modelo de generación energética; es claro suponer que las emisiones GEI tienen una correspondencia directamente proporcional con el número de vehículos registrados.

Lo difícil es establecer con exactitud el área de influencia geográfica de esas emisiones generadas por el parque vehicular registrado en una localidad específica. La sugerencia es partir de documentos referenciales base que permitan obtener o identificar, al menos teóricamente, esa área de influencia geográfica de las emisiones GEI. Tal ejercicio se realizó en este trabajo y se logró bosquejar el impacto geográfico de esa problemática

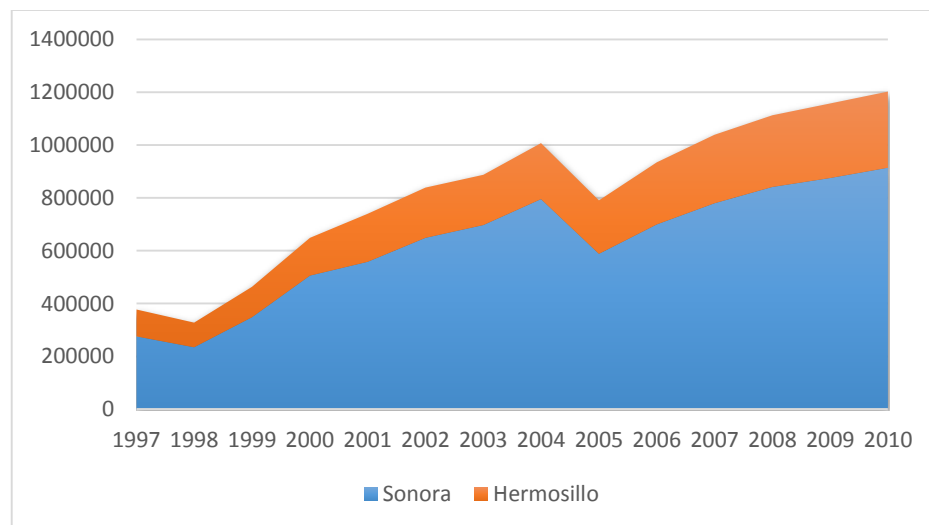
ambiental asociada al modelo energético convencional que predomina en el sector transporte terrestre privado del municipio de Hermosillo, Sonora, México.

Tabla 17. Automóviles privados registrados en Sonora, y Hermosillo 1997-2010.

Año	Autos privados		%
	Sonora	Hermosillo	
1997	275,257.00	102,288.00	37.16
1998	234,439.00	92,910.00	39.63
1999	348,609.00	115,066.00	33.01
2000	505,499.00	143,971.00	28.48
2001	557,962.00	181,593.00	32.55
2002	649,471.00	189,362.00	29.16
2003	697,340.00	189,820.00	27.22
2004	794,976.00	212,604.00	26.74
2005	588,391.00	202,106.00	34.35
2006	699,532.00	234,935.00	33.58
2007	779,768.00	258,923.00	33.21
2008	841,855.00	271,256.00	32.22
2009	875,411.00	281,704.00	32.18
2010	914,023.00	288,289.00	31.54

Fuente: elaboración con base en cálculos propios

Figura 29. Vehículos privados registrados en el estado de Sonora y en el municipio de Hermosillo, 1997-2010.



Fuente: elaboración con base en cálculos propios

La estimación del área de acción de las EGEI se realizó en la plataforma del *Programa Online* destinado para tal efecto el “*The carbón Quilt*”, (<http://carbonquilt.org/>). El resultado de tal procedimiento, muestra que las emisiones generadas por el transporte privado en el 2010 de la localidad de Hermosillo, en el caso hipotético de que permanecieran en el área de generación, formarían una capa de 3.2cm de grosor que ocuparía un área de 26,193 km². Esta aproximación teórica, brinda una idea del impacto de la contaminación a nivel geográfico. Si comparamos la magnitud del área de impacto con la extensión geográfica del municipio (14,889km²), se deriva entonces que las emisiones GEI afectan un territorio 1.76 veces mayor que el que ocupa la localidad en la cual está registrado dicho parque vehicular (Ilustración 11).

Ilustración 11. Área de influencia teórica de las emisiones de GEI generadas por el transporte privado en Hermosillo, Sonora 2010.



Fuente: <http://carbonquilt.org/>

6.2.3. Análisis Asociado a Enfoques Económicos

La economía ambiental aborda el estudio del sector transporte y problemática ambiental, otorgando un valor económico a las externalidades -en este caso a las emisiones GEI por el modelo energético utilizado-, es decir, “internaliza” al sistema económico los insumos

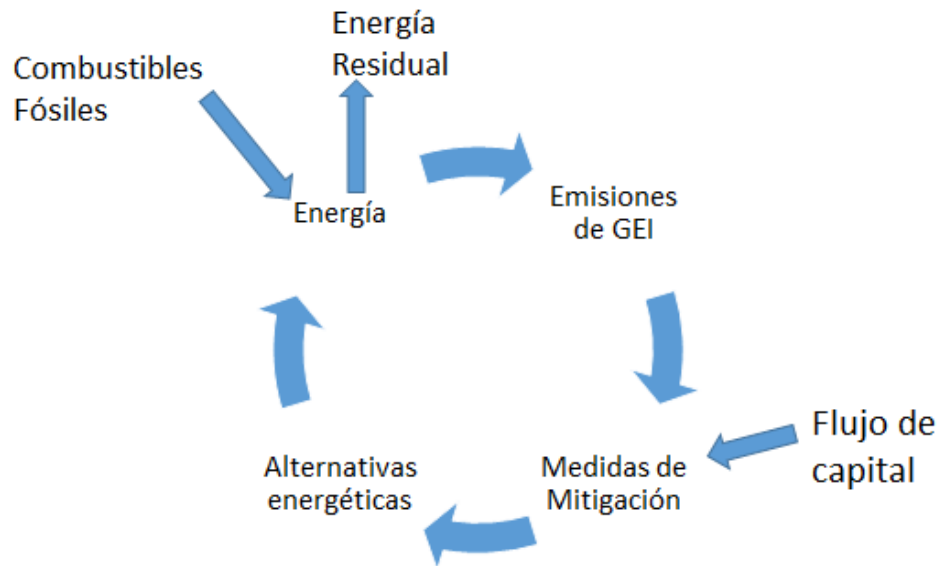
y desechos energéticos asociados con el modelo de producción energética que este sector utiliza. Propone pues asignar a las emisiones GEI un valor monetario y estimar el costo de restauración del daño ecológico asociado a tales emisiones. La suma de esos costos al valor natural de producción, se reflejan en un mayor costo de adquisición que, de acuerdo a esta escuela de pensamiento, debe ser asumido por el consumidor directo.

La economía ecológica, por su parte, integra la variable ambiental al funcionamiento del sistema económico de origen. En el caso que nos ocupa, las emisiones GEI generadas por el sector transporte terrestre privado, no se abordan como una externalidad sino como parte del metabolismo funcional del sistema económico. En el análisis económico, este matiz es fundamental y trastoca el valor natural del producto o bien que es objeto de estudio. En este caso, los costos asociadas al modelo energético utilizado por el sector transporte, llevarían a integrar en las estimaciones correspondientes, el valor de insumos utilizados, de los desechos generados y de la remediación ambiental necesaria para lograr el equilibrio del ecosistema.

Por su parte, la Economía Institucional, también desde una perspectiva crítica e integradora, propone que el estudio del sistema económico como un sistema metabólico considere a los actores e instituciones formales e informales involucradas en el origen y solución de cada problema objeto de interés. Como participan cada cual en ese proceso de generación de energía y contaminantes, es una perspectiva de análisis más compleja que conjunta indicadores económicos, ambientales e institucionales en un mismo sistema de valor.

Tanto la económica ecológica como la institucional (o eointegradora) son críticas de los planteamientos y modelo de análisis del sistema económico que ofrece la economía ambiental o estándar. Reconocen ambas escuelas del pensamiento económico, que el esquema energético actual no es sustentable y que ha privilegiado la extracción sobre la regeneración o remediación ambiental. Como alternativa (Ilustración 12), proponen analizar los medios alternativos que permitirían avanzar hacia la sustentabilidad energética.

Ilustración 12. Esquema de análisis económico emergente de la "Economía Institucional".



Fuente: Elaboración con base en los sustentos teóricos de (Naredo, Raíces económicas del deterioro ecológico y social: Más allá de los dogmas, 2006)

En el esquema anterior, se observa la generación de energía en el sector transporte como un ciclo donde existe entrada de energía (vía los combustibles fósiles), así como la pérdida de energía (energía residual) ya que como menciona la ley de la entropía, no existe ningún sistema termodinámico perpetuo, es decir que siempre hay pérdidas de energía. En ese ciclo principal, se observan las emisiones GEI seguido por las medidas de mitigación de GEI; entra ahí un flujo más de capital (costos monetarios) que implica los costos tecnológicos y sociales de la internalización de las emisiones GEI al sistema económico. Finalmente, se incorporan también a las estimaciones, los costos involucrados en las alternativas energéticas, que nuevamente introducen energía al sistema.

VII. CONCLUSIONES

En primer lugar, se concluye que es posible –y necesario-, generar indicadores económicos desde una perspectiva ambiental para el sector transporte terrestre. Se confirma que este tipo de indicadores brindan información valiosa sobre el modelo energético del parque vehicular, tanto en relación a la tendencia de consumo de cierto tipo de carburantes como en relación a la emisión de gases contaminantes a la atmósfera. La información obtenida ofrece una visión más completa de la problemática del sector transporte terrestre y brinda elementos que bien pueden orientar la toma de decisiones en materia de política pública.

Segundo, los ciclos económicos en México han afectado directamente el consumo de combustibles. En el caso del municipio de Hermosillo se aprecia que la tendencia en el consumo energético se mantuvo a la alza durante el periodo analizado con variaciones compensatorias en los combustibles utilizados por el transporte privado (GPP y GPM). A inicios de la recesión económica en 2008, el consumo de la GPP disminuyó mientras el de la GPM se incrementa casi de manera simétrica al decremento de la otra; alteración vinculada al diferencial de costos por unidad de volumen entre uno y otro combustible.

Se confirma la premisa de partida: existen interrelaciones entre el uso de la energía en el transporte privado y las emisiones de GEI, donde a mayor cantidad de energía consumida, mayor cantidad de emisiones de GEI.

El acumulado de la demanda energética durante el periodo 1997-2010 en Hermosillo, Sonora, se incrementó significativamente de 13, 083.50Tj a 21, 447.23Tj.

Similar a esto, el acumulado del CTGE, se incrementó de 947 millones en 1997 a 4, 350 millones de pesos en 2010, lo que se explica por el aumento en la demanda de combustibles y por lo tanto el valor acumulado de las emisiones pasó de 928 mil toneladas de CO₂ equivalentes a un millón 520 mil de toneladas durante el mismo periodo.

El costo de generación energética por vehículo anual paso de 9, 267.28 pesos a 15, 091.78 pesos en Hermosillo, sonora durante el periodo comprendido de 1997 a 2010

La eficiencia energética del transporte privado en Hermosillo, Sonora, mejoró pasando de 4.72 kilómetros por litro a 7.86 durante el periodo comprendido entre 1997 y 2010, esto significa que cada vez se requirió menos energía para recorrer una distancia mayor.

La eficiencia ambiental durante el mismo periodo también se incrementó pasando de 9.08 toneladas de dióxido de carbono equivalentes en 1997 a 5.20 toneladas, es decir que cada año se generaron menos toneladas de emisiones por kilómetro.

Sin embargo, la eficiencia energética en costos monetarios durante el periodo 1997-2010 disminuyó pasando de 0.51 pesos por kilómetro a inicios del periodo, a 0.83 pesos por kilómetro, es decir que aunque cada año se necesitó menos energía para trasladarse una distancia determinada, el costo monetario aumento anualmente para trasladarse la misma distancia.

De manera similar a la eficiencia energética en costos monetarios, la eficiencia ambiental en costos monetarios decreció en el periodo estudiado, pasando de 1, 020.67 pesos por tonelada de dióxido de carbono equivalentes en 1997 a 2, 857.79 pesos por tonelada. Dígase que en Hermosillo durante dicho periodo, anualmente el costo monetario para generar una tonelada se incrementó.

Es de destacar que no existe una relación significativa entre la eficiencia energética o económica, con el incremento del costo monetario para trasladarse cierta distancia, ya que la eficiencia depende tanto de la tecnología, como la infraestructura carretera, y los costos energéticos dependen de los procesos naturales del mercado de la energía además de las políticas públicas regulatorias en el país.

Al igual que la tendencia en el consumo de energéticos, se vio alterada por los ciclos económicos en México, en el caso de las emisiones de GEI, por la clara relación consumo-emisiones, también se vio afectado por el inicio de la recesión económica en 2008 mostrando una ligera recuperación en el año 2010.

7.1. Recomendaciones

Es necesario elevar la eficiencia energética del transporte vía la implementación de diversos mecanismos de mitigación, inducir cambios en el esquema del transporte privado, mejorar la infraestructura del transporte masivo, diseñar e instrumentar campañas sociales que motiven a sustituir el transporte privado por medios de transporte alternativos más económicos, entre otros.

Algunas de las acciones de mitigación de GEI son propuestas por Instituciones Globales que vislumbran un panorama de cambio y por ende de mejora y oportunidades para el usuario común. Refieren en ese sentido, varias acciones de mejora que impactan la eficiencia energética y desembocan en la reducción de emisiones y del gasto energético. Destacan las siguientes recomendaciones:

Las acciones de mitigación, si bien pueden tornarse poco beneficiosas para ciertos sectores comerciales de la población e inclusive para buena parte de los usuarios demandantes de energía para el transporte, puede ser que tales acciones no funcionen y terminen en el fracaso, por tanto, las medidas deberán favorecer al grueso de la población y las capacidades económicas de la región donde se llevan a cabo (IPCC P. , 1996).

Las medidas para reducir las emisiones de GEI en el transporte están muchas veces en conflicto con los intereses de uno u otro de esos beneficiarios. Las estrategias de mitigación en este sector pueden fracasar a menos que tengan en cuenta las preocupaciones de los beneficiarios y ofrezcan mejores medios para responder a las necesidades que atiende el transporte. La elección de la estrategia dependerá de las capacidades económicas y técnicas del país o región que se considere (IPCC P. , 1996)

Una de las principales medidas para la reducción de emisiones de GEI, es la inversión en transporte público; promover el uso y desarrollo de energías renovables; desincentivar el uso del transporte privado mediante acciones impositivas, tasas de aparcamiento, peajes etc. Estas últimas, a corto plazo, de corte institucional y de bajo costo de aplicación, impactan económicamente en los usuarios, por lo tanto su éxito o fracaso dependerá de la región, el nivel socioeconómico, y las medidas compensatorias aplicadas para contrarrestar decrecimiento del uso del transporte privado. (IPCC P. , 1996)

Sin embargo, las medidas para la mitigación de emisiones de GEI, de largo y mediano plazo, capaces de brindar oportunidades de desarrollo a nivel regional, tales como la mejora en el transporte público masivo además de dar prioridad en la planeación urbana a el uso de medios de transporte alternativo, o peatonal, la densificación gradual de las ciudades, entre otras. Dichas medidas no solamente disminuyen las es emisiones de GEI, si no que impactan en el bienestar de la sociedad (IPCC P. , 1996).

Para la toma de decisiones de cómo afrontar tales problemas energéticos y ambientales, es necesario conocer a fondo la problemática mediante la clasificación e información relevante que permita cuantificar la magnitud del problema. Por tal motivo se presentan las siguientes recomendaciones con respecto a los indicadores generados en el capítulo metodológico.

El indicador CTGE (Costo total de generación energética) como ya se mencionó muestra el costo monetario asumido por los consumidores directos; a pesar de que es estimado mediante la relación entre consumos y costos anuales, brinda un aproximado del costo real generado, pudiera ser mejorada su estimación al conocer un valor de KVR específico para la región o para el municipio

- Cabe destacar que los datos obtenidos del parque vehicular privado, no especifica modelos, tipo de tecnología, antigüedad o actividad; y solamente se presentan como vehículos privados registrados, lo que implica que la estimación de diversos indicadores son meras aproximaciones, dicho esto, es recomendable mantener un control estadístico del parque vehicular.

- En el caso del rendimiento por distancia recorrida, a pesar de su proximidad a un valor real, pudo haber sido estimado de una mejor manera si se tuvieran datos específicos de consumos en el municipio por vehículo, datos de actividad, modelos etc.

Hablando de los indicadores ambientales (Gases de efecto invernadero), su estimación tal como lo menciona al IPCC, se puede mejorar mediante la captación de datos de actividad más complejos tales como factores de emisión específicos para la región, datos de actividad etc. Sin embargo para la toma de decisiones dichas aproximaciones son de utilidad.

Finalmente, al revisar los planteamientos de tres de las corrientes del pensamiento económico que han integrado la dimensión ambiental como objeto de estudio, se concluye que si bien todas brindan herramientas para un mejor análisis económico del sistema, resulta más conveniente en el contexto actual avanzar hacia la economía institucional porque esta corriente le apuesta al paradigma de la complejidad, a la adopción de enfoques de tipo multi o transdisciplinar y deja bien claro que el fin de cada indagación es repercutir en el mejoramiento económico-ambiental de una región específica para lo cual integra actores, factores e instituciones participantes en el problema en cuestión. La economía ambiental se limita a cuantificar el impacto de la sociedad en el ambiente a fin de conocer las consecuencias de las acciones humanas y la economía ecológica a integrar al análisis los flujos energéticos que tienen lugar en el sistema en su dimensión amplia (insumos, residuos, regeneración).

BIBLIOGRAFIA

- A.P.M, B., & E. Ahlonsou, Y. Ding, D. Schimel. (2001). 1: The Climate System: an Overview. In I. I. Working Group I, *THE CLIMATE CHANGE 2001: THE SCIENTIFIC BASIS*. CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS. Retrieved 2013
- Arvizu Fernández, J. L. (2004). Registro Histórico de los principales países emisores. In J. Martínez, & A. Fernández, *Cambio Climático: una visión desde México*. Mexico D. F.: Instituto Nacional de Ecología, Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Barrantes, R. (1990, Abril). ECONOMIA DEL MEDIO AMBIENTE: Consideraciones teóricas. *Documento de trabajo N°48; Serie Economía N°18*. Lima, Perú: Instituto de Estudios Peruanos (IEP) ediciones.
- Bouille, D. (2004). *Economía de la Energía*.
- Chang, M. Y. (2005). Capitulo 6: La economía ambiental. In G. Foladori, N. Pierri, & M. Á. Porrúa (Ed.), *¿Sustentabilidad? Desacuerdos sobre el desarrollo sustentable* (Primera Edición ed.). Universidad Autónoma de Zacatecas.
- Claire Reinburg, Reinburg, C., Cocke, A., Smith, B., & Cusick, J. (2006). *Global Climate Change: Resources of environmental Literacy*.
- de Alba, E. (2004). La convención Marco de Las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático. In J. Martínez, & A. Fernández, *Cambio Climático: una visión desde México*. México D.F.: Instituto Nacional de Ecología, Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Estrada Porrúa, M. (2001). Cambio Climático Global: causas y concencuencias. *Revista de Información y analisis No.16*.
- Gasca Zamora, J. e. (2010). *la gestión comunitaria de recursos naturales y ecoturísticos en la Sierra Norte de Oaxaca*. Mexico: IIE-UNAM, AMIT.
- Gay García, C., Ruiz Suárez, L. G., Imaz, M., Conde, A. C., & Sánchez, O. (1995). *México ante el Cambio Climático. Memorias. Primer Taller de Estudio País México (Español- Inglés)*. México: INE (Instituto Nacional de Ecología).
- Gimaraes, R. p. (2001). *Fundamentos Territoriales y Biorregionales de la Planificación*. Santiago de Chile, Chile: CEPAL: Organización de las Naciones Unidas.
- Guimaraes, R. P. (2001). *Fundamentos territoriales y biorregionales de la planificación* . Santiago de Chile: CEPAL: División de Medio Ambiente y asentamientos humanos.
- H. Brundtland, G., & Khalid, M. (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*.
- Heath, J. (2011). Identificación de los ciclos economicos en México: 30 años de evidencia. *REALIDAD, DATOS Y ESPACIO; REVISTA INTERNACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA*.

- INE, I. N. (Noviembre, 2008). *Guía para la elaboración de Programas Estatales de Acción ante el Cambio Climático*.
- INEGI. (2012). *SIMBAD (Sistema Estatal y Municipal de bases de Datos)*. Retrieved from <http://sc.inegi.org.mx/sistemas/cobdem/resultados.jsp?w=97&Backidhecho=97&Backconstem=95&constembd=028>
- IPCC. (2004). *El Grupo intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC)*. OMM, PNUMA.
- IPCC. (2006). Volumen 2:Energía, Capítulo 3:Combustión móvil. In P. I. Climático, *Directrices del IPCC de 2006 para la elaboración de inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero*.
- IPCC, G. d. (1997). *Impactos Regionales del Cambio Climático: evaluación de la vulnerabilidad*. Panel intergubernamental de Cambio Climático.
- IPCC, P. (1996). *Tecnologías, Políticas y Medidas para Mitigar el Cambio Climático*.
- Jaramillo, V. J. (2004). El ciclo global del carbono. In J. Martínez , & A. Fernández , *Cambio Climático: una visión desde México*. México D.F.: Instituto Nacional de Ecología (INE), Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).
- kennedy, C. (2009, octubre 21). *Climate.gov (Science and information fora a climate-smart nation)*. Retrieved from <http://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/carbon-dioxide-earths-hottest-topic-just-warming>
- Magaña Rueda, V. O. (2004). El Cambio Climático Global: comprender el problema. In J. Martínez, & A. Fernández, *Cambio Climático: una visión desde México* (Primera Edición ed.). México D. F., México: Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Martinez Salgado, H. (2011). *Estudio de emisiones y características vehiculares en ciudades mexicanas; Fase IV: medición de emisiones en cinco ciudades y analisis de resultados globales; Informe Final*. Cd de México: Centro de Transporte Sustentable de México A. C.; Instituto Nacional de Ecología.
- Naredo, J. M. (2004). LA ECONOMÍA EN EVOLUCIÓN: INVENTO Y CONFIGURACIÓN DE LA ECONOMÍA EN LOS SIGLOS XVIII Y XIX Y SUS CONSECUENCIAS ACTUALES. *Manucrits. Revista d'Història Moderna, Universidad Autónoma de Barcelona, 2004, n° 22 (ejemplar dedicado a: "Pensamiento económico y científico en la época moderna")*, p. 83-117., n° 22 ., p. 83-117.
- Naredo, J. M. (2006). *Raíces económicas del deterioro ecológico y social: Más allá de los dogmas* (Primera Edición ed.). España: Siglo XXI.
- Pardo Buendía, M. (2007). El impacto social del cambio climático. *Basado en artículo publicado en Panorama Social (2007) N°5: 22-35*. Universidad Carlos III de Madrid; Departamento de Ciencia Política y Sociología.
- Perez, J. P. (2012). *Indicador de Kilometros Recorridos (KVR): Métodos de cálculo en diferentes países* (Primera Edición ed.). Distrito Federal, México: Instituto de Políticas para Transporte y Desarrollo Mexico.

- PNUAH, P. d. (2011). *Informe Mundial sobre Asentamientos Humanos 2011; LAS CIUDADES Y EL CAMBIO CLIMÁTICO: ORIENTACIONES PARA POLÍTICAS*.
- Publico), S. (. , & Sistema de Administración Tributaria SAT. (2013, Diciembre). http://www.sat.gob.mx/sitio_internet/asistencia_contribuyente/informacion_frecuente/salarios_minimos/45_7369.html.
- Ramaswamy, V. (2001). 6: Radiative Forcing of Climate Change. In I. I. Working Group I, *THE CLIMATE CHANGE 2001: THE SCIENTIFIC BASIS*. CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS. Retrieved Abril 2013
- Ramirez, S. M. (2012). *La Importancia de la Reducción del Automóvil en México* (Primera Edición ed.). Mexico D.F.: ITDP (Instituto de políticas para Transporte y desarrollo México).
- S.-G. S. (2008). *PACC, 2008: Plan de Acción Climática de la Ciudad de México 2008-2012*.
- Sánchez Vargas, A. (2012). *EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA POBREZA EN EL DISTRITO FEDERAL*. México D. F.: D.R. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).
- SEMARNAT, S. d. (2009). *Cambio climático: ciencia, evidencia y acciones*. México.
- SENER. (2011). *Balance Nacional de Energía 2010*. Mexico D. F.: Secretaría de Energía: Subsecretaría de Planeación Estratégica y Desarrollo Tecnológico.
- SENER, S. d. (2013, Noviembre). Sistema Nacional de Información Energética.
- Steffen, W., & Hughes, L. (2013). *THE CRITICAL DECADE 2013: CLIMATE CHANGE, SCIENCES, RISKS AND RESPONSES*. (I. C. Climate Commission Secretariat(Department of Industry, Ed.) Commonwealth of Australia .
- Stern, N. (2007). *El Informe Stern sobre la Economía del Cambio Climático*.
- Tudela, F. (2004). México y la participación de países en desarrollo en el régimen climático. In J. Martínez, & A. Fernández, *Cambio Climático: una visión desde México*. México D. F.: Instituto Nacional de Ecología, Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- WRI. (2011). *WRI.org*. Retrieved from CAIT 2.0 WRI's climate data explore:
[http://cait2.wri.org/wri/Country%20GHG%20Emissions?indicator\[\]=Total%20GHG%20Emissions%20Excluding%20Land-Use%20Change%20and%20Forestry&indicator\[\]=Total%20GHG%20Emissions%20Including%20Land-Use%20Change%20and%20Forestry&year\[\]=2011®ions=true&chartType](http://cait2.wri.org/wri/Country%20GHG%20Emissions?indicator[]=Total%20GHG%20Emissions%20Excluding%20Land-Use%20Change%20and%20Forestry&indicator[]=Total%20GHG%20Emissions%20Including%20Land-Use%20Change%20and%20Forestry&year[]=2011®ions=true&chartType)

ANEXOS

Cuadro Anexo I. Valores de Consumo, Emisiones y Costos de combustible Pemex Magna (Hoja 1)

VALORES DE CONSUMO, EMISIONES Y COSTOS DE PEMEX MAGNA (Hoja 1)						
Año	Volumen de consumos energéticos			Poder calorífico (Mj/be)	Energía Generada	
	m ³	litros	barriles		Mega Joules	Tera joules
1997	389,014.43	389,014,433.00	2,446,827.09	5,255.00	12,858,076,370.97	12,858.08
1998	409,617.60	409,617,602.00	2,576,417.12	5,264.00	13,562,259,733.50	13,562.26
1999	387,559.51	387,559,511.00	2,437,675.91	5,126.00	12,495,526,708.02	12,495.53
2000	357,776.45	357,776,452.00	2,250,346.11	5,126.00	11,535,274,156.82	11,535.27
2001	358,459.58	358,459,578.00	2,254,642.84	5,051.00	11,388,200,997.68	11,388.20
2002	346,641.71	346,641,713.00	2,180,310.71	5,051.00	11,012,749,397.99	11,012.75
2003	350,411.82	350,411,815.00	2,204,023.94	4,858.00	10,707,148,289.64	10,707.15
2004	374,781.07	374,781,074.00	2,357,301.96	5,331.00	12,566,776,751.94	12,566.78
2005	413,888.25	413,888,247.00	2,603,278.67	4,872.00	12,683,173,683.58	12,683.17
2006	453,019.89	453,019,894.00	2,849,409.32	4,872.00	13,882,322,195.35	13,882.32
2007	519,586.81	519,586,814.00	3,268,102.63	5,025.00	16,422,215,738.93	16,422.22
2008	573,785.52	573,785,524.00	3,609,002.25	5,542.00	20,001,090,489.67	20,001.09
2009	586,382.82	586,382,817.00	3,688,236.84	5,182.00	19,112,443,306.44	19,112.44
2010	605,744.61	605,744,608.00	3,810,018.84	5,097.00	19,419,666,017.20	19,419.67
2011	613,919.98	613,919,976.00	3,861,440.35	ND	ND	ND
2012	597,019.34	597,019,335.00	3,755,138.52	ND	ND	ND
TOTAL	7,337,609.39	7,337,609,393.00	46,152,173.12	-----	197,646,923,837.73	197,646.92

Cuadro Anexo 2. Valores de consumo, Emisiones, y Costos de Combustible Pemex Magna (Hoja 2)

VALORES DE CONSUMO, EMISIONES Y COSTOS DE PEMEX MAGNA (Hoja 2)						
Año	Gases de Efecto Invernadero				Costos de combustible	Costo total (Millones de pesos)
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ eq		
1997	891,064.69	424.32	41.15	912,730.55	3.079	1197.77544
1998	939,864.60	447.55	43.40	962,717.01	3.607	1477.49069
1999	865,940.00	412.35	39.99	886,994.96	4.52	1751.76899
2000	799,394.50	380.66	36.91	818,831.44	5.028	1798.9
2001	789,202.33	375.81	36.44	808,391.45	5.432	1947.15243
2002	763,183.53	363.42	35.24	781,740.02	5.712	1980.01746
2003	742,005.38	353.34	34.26	760,046.92	5.804	2033.79017
2004	870,877.63	414.70	40.21	892,052.65	6.06	2271.17331
2005	878,943.94	418.54	40.59	900,315.08	6.289	2602.94319
2006	962,044.93	458.12	44.42	985,436.64	6.65	3012.5823
2007	1,138,059.55	541.93	52.55	1,165,730.98	6.942	3606.97166
2008	1,386,075.57	660.04	64.00	1,419,777.41	7.228	4147.32177
2009	1,324,492.32	630.71	61.16	1,356,696.79	7.625	4471.16898
2010	1,345,782.85	640.85	62.14	1,378,504.99	8.227	4983.46089
2011	ND	ND	ND	ND	9.175	5632.71578
2012	ND	ND	ND	ND	10.203	6091.38828
TOTAL	13,696,931.82	6,522.35	632.47	14,029,966.89	-----	49,006.62

Cuadro Anexo 3. Valores de Consumo, Emisiones y Costos de combustible Pemex Premium (Hoja 1)

VALORES DE CONSUMO, EMISIONES Y COSTOS DE PEMEX PREMIUM(Hoja 1)						
Año	Volumen de consumos energéticos			Poder calorífico (Mj/be)	Energía Generada	
	m ³	litros	barriles		Mega joules	Tera joules
1997	6,820.00	6,820,000.00	42,896.51	5,255.00	225,421,149.99	225.42
1998	36,112.80	36,112,800.00	227,142.67	5,264.00	1,195,679,020.90	1,195.68
1999	49,913.02	49,913,019.00	313,943.43	5,126.00	1,609,274,045.12	1,609.27
2000	72,074.66	72,074,661.00	453,335.96	5,126.00	2,323,800,154.39	2,323.80
2001	90,767.21	90,767,211.00	570,908.56	5,051.00	2,883,659,152.40	2,883.66
2002	107,828.66	107,828,660.00	678,221.85	5,051.00	3,425,698,541.08	3,425.70
2003	122,576.13	122,576,134.00	770,980.66	4,858.00	3,745,424,062.00	3,745.42
2004	130,477.38	130,477,376.00	820,677.98	5,331.00	4,375,034,304.35	4,375.03
2005	133,544.70	133,544,703.00	839,970.88	4,872.00	4,092,338,149.12	4,092.34
2006	143,674.23	143,674,234.00	903,683.72	4,872.00	4,402,747,062.49	4,402.75
2007	119,579.12	119,579,124.00	752,130.04	5,025.00	3,779,453,441.25	3,779.45
2008	95,215.21	95,215,207.00	598,885.62	5,542.00	3,319,024,080.50	3,319.02
2009	70,257.79	70,257,789.00	441,908.18	5,182.00	2,289,968,208.77	2,289.97
2010	63,244.33	63,244,330.00	397,794.86	5,097.00	2,027,560,377.53	2,027.56
2011	69,675.58	69,675,578.00	438,246.19	ND	ND	ND
2012	105,091.46	105,091,460.00	661,005.38	ND	ND	ND
TOTAL	1,416,852.29	1,416,852,286.00	8,911,732.48	-----	39,695,081,749.89	39,695.08

Cuadro Anexo 4. Valores de Consumo, Emisiones y costos de Combustible Pemex Premium (Hoja 2).

VALORES DE CONSUMO, EMISIONES Y COSTOS DE PEMEX PREMIUM (Hoja 2)						
Año	Gases de Efecto Invernadero				Costos de combustible	Costo total (Millones de pesos)
	CO₂	CH₄	N₂O	CO₂eq		
1997	15,621.69	7.44	0.72	16,001.52	3.396	23.16
1998	82,860.56	39.46	3.83	84,875.28	3.978	143.66
1999	111,522.69	53.11	5.15	114,234.32	4.984	248.77
2000	161,039.35	76.69	7.44	164,954.95	5.587	402.68
2001	199,837.58	95.16	9.23	204,696.54	6.087	552.50
2002	237,400.91	113.05	10.96	243,173.21	6.419	692.15
2003	259,557.89	123.60	11.99	265,868.93	6.619	811.33
2004	303,189.88	144.38	14.00	310,561.81	7.13	930.30
2005	283,599.03	135.05	13.10	290,494.62	7.416	990.37
2006	305,110.37	145.29	14.09	312,529.00	7.846	1,127.27
2007	261,916.12	124.72	12.09	268,284.50	8.483	1,014.39
2008	230,008.37	109.53	10.62	235,600.92	8.97	854.08
2009	158,694.80	75.57	7.33	162,553.39	9.433	662.74
2010	140,509.93	66.91	6.49	143,926.37	9.809	620.36
2011	ND	ND	ND	ND	10.302	717.80
2012	ND	ND	ND	ND	10.887	1,144.13
TOTAL	2,750,869.17	1,309.94	127.02	2,817,755.38	-----	10,935.69

Cuadro Anexo 5. Resultados globales de Costos

RESULTADOS GLOBLAES (COSTOS)						
Año	Total de automóviles	Total litros	CTGE Anual	Costo energético diario	Costo energético por vehículo	Costo energético por vehículo diario
1997	102,288.00	395,834,433.00	1,220,936,159.21	3,345,030.57	11,936.26	32.70
1998	92,910.00	445,730,402.00	1,621,147,408.81	4,441,499.75	17,448.58	47.80
1999	115,066.00	437,472,530.00	2,000,535,476.42	5,480,919.11	17,385.98	47.63
2000	143,971.00	429,851,113.00	2,201,581,131.66	6,031,729.13	15,291.84	41.90
2001	181,593.00	449,226,789.00	2,499,652,441.05	6,848,362.85	13,765.14	37.71
2002	189,362.00	454,470,373.00	2,672,169,633.20	7,321,012.69	14,111.44	38.66
2003	189,820.00	472,987,949.00	2,845,121,605.21	7,794,853.71	14,988.52	41.06
2004	212,604.00	505,258,450.00	3,201,476,999.32	8,771,169.86	15,058.40	41.26
2005	202,106.00	547,432,950.00	3,593,310,702.83	9,844,686.86	17,779.34	48.71
2006	234,935.00	596,694,128.00	4,139,850,335.06	11,342,055.71	17,621.26	48.28
2007	258,923.00	639,165,938.00	4,621,361,371.68	12,661,264.03	17,848.40	48.90
2008	271,256.00	669,000,731.00	5,001,402,174.26	13,702,471.71	18,437.94	50.51
2009	281,704.00	656,640,606.00	5,133,910,703.26	14,065,508.78	18,224.49	49.93
2010	288,289.00	668,988,938.00	5,603,824,522.99	15,352,943.90	19,438.22	53.26
2011	296,593.00	683,595,554.00	6,350,513,584.36	17,398,667.35	21,411.54	58.66
2012	263,679.00	702,110,795.00	7,235,519,000.03	19,823,339.73	27,440.63	75.18
TOTAL		8,754,461,679.00	59,942,313,249.34	164,225,515.75	278,187.98	762.16

Cuadro Anexo 6. Resultados globales de Energía y Emisiones de Gases de Efecto Invernadero

RESULTADOS GLOBLAES DE ENERGÍA Y EMISIONES DE GEI							
Año	Mj	Tj	MW/hora	Toneladas de GEI			T. CO2 eq
				CO2	CH4	N2O	
1997	13,083,497,520.97	13,083.50	3,634,304.87	906,686.38	431.76	41.87	928,732.07
1998	14,757,938,754.40	14,757.94	4,099,427.43	1,022,725.16	487.01	47.23	1,047,592.28
1999	14,104,800,753.14	14,104.80	3,918,000.21	977,462.69	465.46	45.14	1,001,229.28
2000	13,859,074,311.21	13,859.07	3,849,742.86	960,433.85	457.35	44.35	983,786.39
2001	14,271,860,150.08	14,271.86	3,964,405.60	989,039.91	470.97	45.67	1,013,087.99
2002	14,438,447,939.07	14,438.45	4,010,679.98	1,000,584.44	476.47	46.20	1,024,913.23
2003	14,452,572,351.64	14,452.57	4,014,603.43	1,001,563.26	476.93	46.25	1,025,915.85
2004	16,941,811,056.29	16,941.81	4,706,058.63	1,174,067.51	559.08	54.21	1,202,614.46
2005	16,775,511,832.71	16,775.51	4,659,864.40	1,162,542.97	553.59	53.68	1,190,809.71
2006	18,285,069,257.83	18,285.07	5,079,185.90	1,267,155.30	603.41	58.51	1,297,965.64
2007	20,201,669,180.18	20,201.67	5,611,574.77	1,399,975.67	666.66	64.65	1,434,015.49
2008	23,320,114,570.17	23,320.11	6,477,809.60	1,616,083.94	769.56	74.62	1,655,378.33
2009	21,402,411,515.21	21,402.41	5,945,114.31	1,483,187.12	706.28	68.49	1,519,250.18
2010	21,447,226,394.72	21,447.23	5,957,562.89	1,486,292.79	707.76	68.63	1,522,431.37
TOTAL	237,342,005,587.62	237,342.01	65,928,334.89	16,447,800.99	7,832.29	759.49	16,847,722.27

Cuadro Anexo 7. Indicadores (Hoja 1)

INDICADORES (Hoja 1)										
Año	KVR anual	KVR Diario	Km/Tj	km/Mw/h	Km/\$	Km/L	\$/km	L/km	\$/km (PEMEX PREMIUM)	\$/km PEMEX MAGNA
1997	1,866,756,000.00	5,114,400.00	142,680.20	513.65	1.53	4.72	0.65	0.21	0.72	0.65
1998	1,695,607,500.00	4,645,500.00	114,894.60	413.62	1.05	3.80	0.96	0.26	1.05	0.95
1999	2,099,954,500.00	5,753,300.00	148,882.25	535.98	1.05	4.80	0.95	0.21	1.04	0.94
2000	2,627,470,750.00	7,198,550.00	189,584.87	682.51	1.19	6.11	0.84	0.16	0.91	0.82
2001	3,314,072,250.00	9,079,650.00	232,210.25	835.96	1.33	7.38	0.75	0.14	0.83	0.74
2002	3,455,856,500.00	9,468,100.00	239,350.97	861.66	1.29	7.60	0.77	0.13	0.84	0.75
2003	3,464,215,000.00	9,491,000.00	239,695.39	862.90	1.22	7.32	0.82	0.14	0.90	0.79
2004	3,880,023,000.00	10,630,200.00	229,020.56	824.47	1.21	7.68	0.83	0.13	0.93	0.79
2005	3,688,434,500.00	10,105,300.00	219,870.16	791.53	1.03	6.74	0.97	0.15	1.10	0.93
2006	4,287,563,750.00	11,746,750.00	234,484.41	844.14	1.04	7.19	0.97	0.14	1.09	0.93
2007	4,725,344,750.00	12,946,150.00	233,908.63	842.07	1.02	7.39	0.98	0.14	1.15	0.94
2008	4,950,422,000.00	13,562,800.00	212,281.20	764.21	0.99	7.40	1.01	0.14	1.21	0.98
2009	5,141,098,000.00	14,085,200.00	240,211.16	864.76	1.00	7.83	1.00	0.13	1.20	0.97
2010	5,261,274,250.00	14,414,450.00	245,312.57	883.13	0.94	7.86	1.07	0.13	1.25	1.05
2011	5,412,822,250.00	14,829,650.00	-----	-----	0.85	7.92	1.17	0.13	1.30	1.16
2012	4,812,141,750.00	13,183,950.00	-----	-----	0.67	6.85	1.50	0.15	1.59	1.49

Cuadro Anexo 8. Indicadores (Hoja 2)**INDICADORES (Hoja 2)**

Año	CTGE diario	Ton/vehículo	Ton/Km	\$/ton
1997	32.70	9.08	0.00	1,314.63
1998	47.80	11.28	0.00062	1,547.50
1999	47.63	8.70	0.00048	1,998.08
2000	41.90	6.83	0.00037	2,237.87
2001	37.71	5.58	0.00031	2,467.36
2002	38.66	5.41	0.00030	2,607.22
2003	41.06	5.40	0.00030	2,773.25
2004	41.26	5.66	0.00031	2,662.10
2005	48.71	5.89	0.00032	3,017.54
2006	48.28	5.52	0.00030	3,189.49
2007	48.90	5.54	0.00030	3,222.67
2008	50.51	6.10	0.00033	3,021.30
2009	49.93	5.39	0.00030	3,379.24
2010	53.26	5.28	0.00029	3,680.84
2011	58.66			
2012	75.18			

BREVE GLOSARIO

Atmósfera Terrestre

La atmósfera terrestre está compuesta por una mezcla de gases en la cual predomina el nitrógeno (N) con cerca del 78% seguido por el oxígeno (O) con valores cercanos al 21%, y en el poco más de 1% restante se encuentra una mezcla variada de gases como Argón, Hidrogeno, vapor de agua, dióxido de carbono (CO₂) helio Neón y Kriptón (entre los cuales están los gases de efecto invernadero). En la atmósfera se suscitan todos los fenómenos meteorológicos, la capa atmosférica se encuentra desde el nivel del mar hasta diez kilómetros por encima de dicho nivel y, en promedio, mantiene una temperatura de 14°C, sin embargo conforme se asciende dentro de ella, la temperatura baja a valores de entre -50°C y -70°C (SEMARNAT, 2009).

La atmósfera terrestre juega un papel importante en el sustento de la vida en la tierra. Entre sus funciones más importantes está el operar como un filtro natural de la radiación ultra violeta y suscitar, además el efecto invernadero (por su composición gaseosa), necesario para la supervivencia de la mayoría de los componentes de la biósfera terrestre (SEMARNAT, 2009). Los gases que no son considerados como GEI, solamente se ven limitados a interactuar con la luz proveniente del sol y no tienen ningún efecto con los rayos infrarrojos emanados de la tierra (A.P.M & E. Ahlonsou, Y. Ding, D. Schimel, 2001, pág. 87).

Gases Efecto Invernadero (GEI)

Los GEI son aquellos gases que se encuentran de manera natural en la atmosfera, su función es regular la temperatura de ella sea reflejando o absorbiendo la luz proveniente del sol, al igual que absorben los rayos infrarrojos emanados por la tierra, elevando su temperatura. Los GEI funcionan como los vidrios de un invernadero, por tal razón su nombre, al retener el calor dentro del invernadero y regular su temperatura, la hacen

óptima para la vida (IPCC, El Grupo intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), 2004).

Factores determinantes del Clima Terrestre

El clima terrestre es determinado por los fenómenos atmosféricos y en gran medida por las interacciones existentes entre las corrientes marinas y los sucesos ocurridos en tierra (procesos químicos y biológicos, naturales y antropogénicos). De tal manera que el clima es un grupo de factores interdependientes que a su vez son determinados por el balance radiativo (A.P.M & E. Ahlonsou, Y. Ding, D. Schimel, 2001, pág. 87).

Por otro lado, existen diversos gases que se encuentran en cantidades traza dentro de la atmosfera terrestre, tales como el Dióxido de Carbono (CO₂), Metano (CH₄), Óxido Nitroso (N₂O), Vapor de Agua (H₂O) y Ozono (O₃), entre otros, los cuales tienen la capacidad de absorber y emitir radiación infrarroja, por lo cual se les puede considerar como GEI, además se encuentran en partículas sólidas como aerosoles, provenientes de manera natural de diversos procesos geológicos, que interactúan directamente con la radiación infrarroja proveniente del sol y de la tierra, alterando así su temperatura (A.P.M & E. Ahlonsou, Y. Ding, D. Schimel, 2001, págs. 87,88).

El vapor de agua como tal, se considera un GEI de suma importancia ya que, en sus procesos físicos (transiciones de fases), absorbe una gran cantidad de energía por lo cual se considera un factor importante en la variabilidad climática y el cambio climático. Por lo mismo, entre los factores que determinan la variabilidad climática en la tierra están los océanos, los cuales cubren el 70% de la tierra, tomando el papel de almacenes de gran cantidad de energía y absorbiendo importantes cantidades de CO₂ atmosférico (mediante procesos químicos y biológicos como procesos de fotosíntesis de plantas marinas). Como se citó antes, los procesos químicos y biológicos en la superficie terrestre propician la variabilidad climática y funcionan como un mecanismo de control dentro del balance energético terrestre, al absorber y distribuir energía de amplias longitudes de onda (radiación infrarroja) calentando y regulando la temperatura de la atmosfera y la superficie terrestre (A.P.M & E. Ahlonsou, Y. Ding, D. Schimel, 2001, pág. 88).

Finalmente, entre los factores determinantes de la variabilidad climática que intervienen en el balance energético terrestre, también está el factor solar. Cerca de la mitad de la energía proveniente del sol en la tierra, pertenece a la “energía de onda corta” (Luz visible) y la otra mitad corresponde a los rayos infrarrojos y ultravioletas (energía de onda larga). La tierra recibe anualmente un promedio de 342 watts de radiación solar por metro cuadrado, de los cuales 31% de la radiación es reflejada de vuelta al espacio por las nubes y la atmosfera, permaneciendo un total de 235 watts por metro cuadrado parcialmente absorbidos por la atmosfera terrestre, pero en su mayoría por la superficie terrestre, calentando los océanos y la atmosfera terrestre. La superficie terrestre envía de vuelta el calor (en forma de rayos infrarrojos) a la atmosfera en forma de calor sensible y vapor de agua, el cual se condensa de nuevo en la atmosfera terrestre formando nubes y precipitación pluvial. Este intercambio de energía mantiene una temperatura promedio de 14°C en la atmosfera, haciéndola propicia para la vida como la conocemos (A.P.M & E. Ahlonsou, Y. Ding, D. Schimel, 2001, págs. 89,90).

Forzamiento Radiativo

El término “forzamiento radiativo” ha sido empleado en las publicaciones generadas por los grupos de trabajo del IPCC para denotar una perturbación externa en los balances de energía de los sistemas climáticos terrestres. Tales perturbaciones pueden ser generadas por cambios significativos en las concentraciones de diferentes especies químicas (ejemplos de esto los GEI etc.) o variaciones en los factores capaces de afectar de manera externa los sistemas climáticos (variaciones en la irradiación solar sobre el planeta, cambios en las propiedades de transferencia energética de la superficie terrestre o de la atmosfera etc.). Estas variaciones en el balance energético de los sistemas climáticos, tienen la capacidad de alterar ciertos parámetros, lo que puede reflejarse en un nuevo estado de equilibrio climático (Ramaswamy, 2001, pág. 353). En otras palabras, el forzamiento radiativo de cambio climático es un concepto que constituye una simple pero importante manera de estimar los impactos radiativos por diferentes causas -naturales o antropogénicos- en los sistemas climáticos de la superficie terrestre (Ramaswamy, 2001, pág. 353).

Algebraicamente, según la ecuación utiliza por el IPCC para determinar los valores de forzamiento radiativo ($\Delta T_s / \Delta F = \lambda$), denota el valor constante de uno para una variedad de forzamientos radiativos como la letra del alfabeto griego “lambda” (λ), mientras que ΔT_s es el incremento de la temperatura de la superficie de la troposfera, es decir el valor que toma T_s al pasar de un equilibrio estático a otro en respuesta a una perturbación generada por una externalidad y , finalmente ΔF es el incremento del forzamiento radiativo, es decir la variación de un factor externo que genera cierto nivel de forzamiento radiativo (Ramaswamy, 2001, pág. 354).

La fórmula anterior permite estimar los valores de forzamiento radiativo para cada uno de los factores capaces de afectar los balances energéticos de los sistemas climáticos. Sin embargo existe una mayor complejidad para la obtención matemática de dicha fórmula, para los cuales se utilizan diversos modelos matemáticos, que para fines de este trabajo, no será necesario denotar⁴.

Por otro lado, es importante afirmar que no todos los gases que se encuentran en la atmosfera, generan forzamiento radiativo directo, siendo así que muchos requieren sufrir transformaciones químicas, naturales en la atmosfera para así generar nuevos compuestos capaces de generar un forzamiento radiativo directo, además de que la permanencia de dichos gases en la atmosfera es muy variable, siendo así que los aerosoles son compuestos de muy baja permanencia a diferencia de los GEI comunes que son de larga permanencia. Dentro de los principales GEI se encuentran el CO_2 , CH_4 y N_2O , mientras que gases como los clorofluorocarbonados, perfluorocarbonados entre otros, no se pueden considerar como GEI directo debido a que, como se mencionó anteriormente, son precursores de gases tales como óxidos nitrosos, ozono, entre otros. (Ramaswamy, 2001, págs. 386,387,388).

⁴ Para mayor información sobre los modelos matemáticos, consulte: Ramaswamy, V. (2001). 6: Radiative Forcing of Climate Change. En I. I. Working Group I, THE CLIMATE CHANGE 2001: THE SCIENTIFIC BASIS. CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS. Recuperado el Abril de 2013 o en la página web: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml#UW1-BDLwcv4

Potenciales de Calentamiento Global (GWP).

Tal como se utilizan los valores de forzamiento radiativo como una manera simplificada de comparar diversos factores que se cree tienen una influencia en la variación de los sistemas climáticos, también se utiliza otro tipo de unidad para estimar el impacto futuro de las emisiones de GEI en los sistemas climáticos denominada “Potenciales de Calentamiento Global” o GWP por sus siglas en inglés (Global Warming Potential). Una unidad de GWP compara el forzamiento radiativo de una tonelada de un gas de efecto invernadero en un período de tiempo dado (p. ej. 100 años) con una tonelada de CO₂ (Ramaswamy, 2001, págs. 384,385,386).

Cada gas de efecto invernadero tiene un potencial de calentamiento global específico, todos basados en el CO₂, los cuales son abordados en el capítulo metodológico de este trabajo.